



**Escola de Camins**  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

## Bases para la evaluación de la sostenibilidad en obra civil

Treball realitzat per:

**Marc Vergé Expósito**

Dirigit per:

**Ignacio Valero López**

Dirigit externament per:

**Licinio Alfaro Garrido**

Màster en:

**Enginyeria de Camins, Canals i Ports**

Barcelona, 15 de juny de 2017

Departament d'Enginyeria de la Construcció

**TREBALL FINAL DE MÀSTER**



---

## RESUMEN

---

El impacto de las actividades realizadas en el planeta está produciendo cambios importantes en la atmósfera, el clima, el suelo, la biodiversidad y la vida humana. Por ello es necesario introducir cambios en los modelos de producción y consumo, como es el caso del modelo actual de construcción que presenta algunas inconsistencias que requieren un replanteamiento para hacer que esta actividad sea compatible con los principios del desarrollo sostenible.

De aquí nace la necesidad de evaluar el comportamiento sostenible de las actividades del sector de la construcción. En el caso de los productos de construcción y de la edificación se han ido desarrollando varios sistemas y metodologías a lo largo de los años para dar respuesta a esta necesidad, sin embargo la obra civil se ha quedado algo atrás en materia de desarrollo sostenible. Es justamente ahora cuando están empezando a surgir distintos estándares y protocolos que pretenden mejorar esta situación.

Dicha situación deja patente la necesidad de poner sobre la mesa las distintas actuaciones que se están llevando a cabo dando lugar al objetivo de este trabajo, que es el de poner en relevancia el estado del arte en esta materia de un modo didáctico y realizar la metodología que asiente las bases de la evaluación de la sostenibilidad para el caso de las infraestructuras.

Para la consecución del objetivo se repasan los conceptos de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida en la que se basan los métodos de cálculo de impactos. Se exponen conceptos sobre las ecoetiquetas y las Declaraciones Ambientales de Producto, poniendo especial atención en el caso de productos de la construcción donde se establecen las etapas del ciclo de vida de una construcción así como la estructura de la información a evaluar.

Se realiza un estudio del panorama actual tanto en el sector de la edificación como el de la obra civil con el objeto de ver el paralelismo existente entre ambos y cómo uno puede aprender del otro. Además, se incluyen las ideas fruto de las reuniones mantenidas con distintas constructoras así como los proyectos que éstas están llevando a cabo.

A partir de lo aprendido se exponen las bases para la evaluación del comportamiento sostenible en una infraestructura de forma que sea sencilla, útil y que armonice los distintos sistemas estudiados. Mediante dos ejemplos se clarifica la información expuesta con el fin de asentar los conceptos. Se incluye un primer ejemplo teórico y un segundo

ejemplo práctico donde se utilizan herramientas que está desarrollando el *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC)*, y que sirven a la vez de análisis de adaptabilidad de dichas herramientas a la evaluación de la sostenibilidad en el caso de una obra civil.

Finalmente, se cierra el trabajo citando posibles futuras líneas de investigación dado que este trabajo tiene el propósito de ser el precedente de otros que amplíen esta materia.

La conclusión más clara que se extrae del trabajo es que la necesidad de desarrollar sistemas de evaluaciones de la sostenibilidad en obra civil de una forma armonizada y sencilla es latente en el sector. A partir de estas evaluaciones los técnicos encargados de la sostenibilidad de un proyecto tienen la capacidad de formar parte de la toma de decisiones de un proyecto y permiten que el condicionante sostenible sea un parámetro más a tener en cuenta. Además, una mejora de los impactos conlleva en muchos casos una reducción del consumo de recursos lo que afectará directamente a los costes de la infraestructura durante toda su vida útil.

En muchos casos, la decisión de realizar evaluaciones de este tipo responde a criterios de marketing de las empresas, de visibilidad corporativa o de responsabilidad social. De este modo, la competencia entre los distintos agentes hace que se desarrollen proyectos en esta línea. Sin embargo, la administración podría forzar a que la competencia fuese mayor y fomentar el desarrollo sostenible exigiendo evaluaciones de este tipo para la licitación de obra pública, fijando niveles de emisiones o premiando a los proyectos que informen y reduzcan sus emisiones.

---

## RESUM

---

L'impacte de les activitats realitzades en el planeta està produint canvis importants a l'atmosfera, el clima, el sol, la biodiversitat i la vida humana. Per això, és necessari introduir canvis en els models de producció i consum, com és el cas del model actual de construcció que presenta algunes inconsistències que requereixen un replantejament per fer que aquesta activitat sigui compatible amb els principis del desenvolupament sostenible.

Per aquest fet, sorgeix la necessitat d'avaluar el comportament sostenible de les activitats del sector de la construcció. En el cas dels productes de construcció i de la edificació s'ha anat desenvolupant diferents sistemes i metodologies al llarg dels anys per donar resposta a aquesta necessitat, no obstant l'obra civil s'ha quedat enrere en matèria de desenvolupament sostenible. És precisament ara quan estan començant a sorgir diversos estàndards i protocols que pretenen millorar aquesta situació.

Donada la situació actual, es deixa patent la necessitat de posar sobre la taula les diferents actuacions que s'estan duent a terme donant lloc a l'objectiu d'aquest treball, que és el de posar en rellevància l'estat de l'art en aquesta matèria d'una manera didàctica i realitzar una metodologia que assenti les bases de l'avaluació de la sostenibilitat pel cas de les infraestructures.

Per a la consecució de l'objectiu es repassen els conceptes de la metodologia de l'Anàlisi del Cicle de Vida en la que es basen els mètodes de càlcul d'impactes. S'exposen conceptes sobre les ecoetiquetes i les Declaracions Ambientals de Producte, posant especial atenció en el cas de productes de la construcció on s'estableixen les etapes del cicle de vida d'una construcció així com l'estructura de la informació a avaluar.

Es realitza un estudi del panorama actual tant en el sector de l'edificació com el de l'obra civil amb l'objectiu de veure el paral·lisme existent entre ambdós i com pot aprendre l'un de l'altre. A més, s'inclouen les idees que són fruit de les reunions mantingudes amb diferents constructores així com els projectes que estan duent a terme.

A partir de l'après s'exposen les bases per l'avaluació del comportament sostenible en una infraestructura de forma senzilla, útil i que harmonitzi els diferents sistemes estudiats. Mitjançant dos exemples es clarifica la informació exposada per tal d'assentar els conceptes. S'inclou un primer exemple teòric i un segon exemple pràctic on s'utilitzen

eines que està desenvolupant l'Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC), i que serveix a la vegada d'anàlisi d'adaptabilitat d'aquestes eines a l'avaluació de la sostenibilitat en el cas d'una obra civil.

Finalment, es tanca el treball citant possibles futures línies d'investigació donat que aquest treball té el propòsit de ser el precedent d'altres que ampliïn aquesta matèria.

La conclusió més clara que s'extrau del treball és que la necessitat de desenvolupar sistemes d'avaluació de la sostenibilitat en obra civil d'una forma harmonitzada i senzilla es latent en el sector. A partir d'aquestes avaluacions els tècnics encarregats de la sostenibilitat d'un projecte tenen la capacitat de formar part de la presa de decisions d'un projecte i permeten que el condicionant sostenible sigui un paràmetre més a tenir en compte. A més, una millora dels impactes porta associat, en molts casos, una reducció del consum de recursos que afectarà directament als costos de la infraestructura durant tota la seva vida útil.

En molts casos, la decisió de realitzar avaluacions d'aquest tipus respon a criteris de màrqueting de les empreses, de visibilitat corporativa o de responsabilitat social. D'aquesta manera, la competència entre els diferents agents fa que es desenvolupin projectes en aquesta línia. No obstant, la administració hauria de forçar a que la competència fos més gran i fomentar el desenvolupament sostenible exigint avaluacions d'aquest tipus per les licitacions d'obra pública, fixant nivells d'emissions o premiant als projectes que informin i redueixin les seves emissions.

---

## ABSTRACT

---

The impact of human activities on the planet has as a result changes in the atmosphere, climate, soil, biodiversity and human life. For this reason, it is necessary to make changes in production and consumption patterns, such as in the current construction model, which presents some inconsistencies and where it is necessary to think about in order to carry out the normal activity in accordance with the principles of sustainable development.

This gives rise to the need for evaluate the sustainable behaviour of the activities of the construction sector. In the case of construction products and building several systems and methodologies have been developed to give response to this need, however the sector of civil engineering works has been left behind in terms of sustainable development. These are the times when different standards and protocols are emerging with the aim to improve this situation.

Current developments and the different actions that are being carried out show a lack of systematization, which this project aims to overcome. Therefore, the objective of this project is to emphasize the state of the art in this subject in a didactic way and to develop the methodology, which sets up the basis for the civil engineering works sustainability assessment.

To achieve the objectives of the project basic concepts of the Life Cycle Assessment are established because the impact calculation methods are based on it. Different concepts about eco-labels and Environmental Product Declarations are presented focusing on construction products where the stages of the infrastructure life cycle are explained as well as on the structure of the information to be evaluated.

A study of the current situation of the construction sector, both for building and civil engineering works, is carried out in order to show the parallelism between them and how they can learn from each other. Moreover, is included the resulting knowledge from the meetings held with different construction companies as well as the projects that they are carrying out.

Based on what has been exposed the bases of sustainability assessment in civil engineering works are presented in a simple and useful way that harmonizes the different studied systems. By means of two examples the information exposed is clarified in order to settle the knowledge, the project includes a first theoretical example and a second

practical one which are done with tools being developed by the *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC)*. These examples are also used as an analysis of the adaptability of these tools to the assessment of sustainability in the case of a civil engineering work.

Finally, the project is closed suggesting ideas of possible future research lines due to this project intends to be the precedent of others that will extend this subject.

The most relevant conclusion drawn from the project is that the need to develop sustainability assessment systems in civil engineering works in a harmonized and a simple way is latent in the sector. From these evaluations sustainability technicians of a civil engineering work project have the capacity to be part of the decision-making process with consequence of allowing the sustainable parameter to be as well part of it. In addition, improved impacts often lead to a reduction in resource consumption, which will directly affect the costs of the infrastructure throughout its life.

In many cases, the decision to perform evaluations of this type responds to marketing criteria of the companies, for corporate visibility or because of social responsibility. In this way, competition between the different agents lead to projects developed according to this philosophy. However, administrations could force a greater competition by asking as a mandatory requirement these evaluations for public works bidding, by putting a cap on emission levels or by rewarding projects that report and reduce their emissions.



---

# ÍNDICE

---

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>RESUM</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
1.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	1
1.2. <i>OBJETIVOS</i>	2
1.3. <i>ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO</i>	3
<b>2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA</b>	<b>5</b>
2.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	5
2.2. <i>METODOLOGÍA DEL ACV</i>	6
2.2.1. Definición de objetivos y alcance	7
2.2.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)	8
2.2.3. Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV)	9
2.2.4. Interpretación de resultados	10
<b>3. ECOETIQUETAS</b>	<b>11</b>
3.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	11
3.2. <i>TIPO I: ETIQUETA ECOLÓGICA</i>	12
3.3. <i>TIPO II: AUTODECLARACIÓN MEDIOAMBIENTAL</i>	12
3.4. <i>TIPO III: DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO</i>	13
<b>4. DAP EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>17</b>
4.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	17
4.2. <i>RCP BÁSICAS PARA PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN</i>	19
4.2.1. Objetivos	20
4.2.2. Etapas del ciclo de vida y módulos de información	20
4.2.3. Tipos de DAP en función de las etapas del ciclo de vida cubiertas	22
4.2.4. Reglas para el cálculo del ACV	24
4.2.5. Etapa de producto	25
4.2.6. Indicadores que se incluyen en una DAP	27
<b>5. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE</b>	<b>29</b>
5.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	29

5.2. DEFINICIÓN	29
5.3. SOSTENIBILIDAD EN EDIFICACIÓN	32
5.3.1. Marco normativo	34
5.3.2. Sistemas de evaluación de la sostenibilidad	36
5.4. SOSTENIBILIDAD EN OBRA CIVIL	39
5.4.1. Marco normativo	40
5.4.2. Sistemas de evaluación de la sostenibilidad	42
5.4.3. Situación en las constructoras españolas	46
<b>6. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN OBRA CIVIL</b>	<b>51</b>
6.1. INTRODUCCIÓN	51
6.2. ESTRUCTURA DE LA EVALUACIÓN	52
6.3. OBJETO DE EVALUACIÓN	54
6.4. EQUIVALENTE FUNCIONAL	54
6.5. ASIGNACIÓN DE DATOS AL CICLO DE VIDA	55
6.6. PERIODO DE ESTUDIO DE REFERENCIA	56
6.7. LÍMITES DEL SISTEMA	58
6.8. ESCENARIOS	59
6.9. MÓDULOS DE INFORMACIÓN: ETAPAS DEL CICLO DE VIDA	59
6.9.1. Etapa de pre-construcción (Módulo A0)	62
6.9.2. Etapa de producto (Módulos A1 - A3)	62
6.9.3. Etapa del proceso de construcción (Módulos A4 - A5)	62
6.9.3.1. A4: Transporte	63
6.9.3.2. A5: Construcción	63
6.9.4. Etapa de uso (Módulos B1 - B8)	64
6.9.4.1. B1: Uso	64
6.9.4.2. B2: Mantenimiento	65
6.9.4.3. B3: Reparación	65
6.9.4.4. B4: Sustitución	65
6.9.4.5. B5: Rehabilitación	66
6.9.4.6. B6: Uso de energía operacional	66
6.9.4.7. B7: Uso de agua en servicio	66
6.9.4.8. B8: Explotación - uso por parte de los usuarios	67
6.9.5. Etapa de fin de vida (Módulos C1 - C4)	67
6.9.5.1. C1: Deconstrucción	68
6.9.5.2. C2: Transporte	68
6.9.5.3. C3: Tratamiento para reutilización, recuperación o reciclaje	68
6.9.5.4. C4: Vertido	69
6.9.6. Cargas y beneficios más allá de los límites del sistema (Módulo D)	69
6.10. INDICADORES DEL COMPORTAMIENTO SOSTENIBLE DE UNA OBRA CIVIL	70
6.10.1. Indicadores del comportamiento ambiental	70
6.10.2. Indicadores del comportamiento social	75
6.10.3. Indicadores del comportamiento económico	78
<b>7. EJEMPLO DE APLICACIÓN EN EL CASO DE UNA CARRETERA</b>	<b>79</b>
7.1. INTRODUCCIÓN	79
7.2. EJEMPLO TEÓRICO	79
7.3. EJEMPLO PRÁCTICO	85

7.3.1. Banco de datos BEDEC	85
7.3.2. Software TCQi-GMA	87
7.3.3. Ejemplo	88
7.3.4. Mención especial CO <sub>2</sub>	103
<b>8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>107</b>
<b>9. CONCLUSIONES</b>	<b>111</b>
<b>10. REFERENCIAS</b>	<b>115</b>
<b>11. ANEJOS</b>	<b>119</b>
<i>ANEJO A: PRESUPUESTO</i>	
<i>ANEJO B: JUSTIFICACIÓN DE ELEMENTOS</i>	
<i>ANEJO C: RESULTADOS</i>	



---

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Desde hace años, el gran aumento de la población y el impacto de sus actividades están produciendo cambios importantes en la atmósfera, el suelo, el agua, las plantas y los animales. Se ha ido generando un enorme nivel de actividad sin tener en cuenta los significativos y rápidos impactos negativos sobre el clima, con lo que se pone en riesgo la propia supervivencia de la vida. Este hecho crea la necesidad de introducir cambios en los modelos de producción y consumo.

Es por ello que poco a poco desde todos los rincones del planeta se ha ido creando la conciencia de que el conjunto de sus actividades deben ser sostenibles. Se entiende como desarrollo sostenible la capacidad humana de lograr desarrollo asegurando que se cumplen las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Se tiende a pensar en la sostenibilidad como sinónimo de protección del medio ambiente, sin embargo, el término “sostenible” hace referencia al equilibrio de sus tres dimensiones básicas: ambiental, social y económica.

La construcción en sí misma es una actividad esencial para la mejora de la calidad de vida humana, cumpliendo así su vertiente más social. Pero por otro lado, el modelo actual de construcción presenta algunas inconsistencias que requieren un replanteamiento para hacer que esta actividad sea compatible con los principios de un desarrollo sostenible. Así pues, se entiende como construcción sostenible la manera que tiene este sector de contribuir al desarrollo sostenible.

Bien es cierto que la construcción tiene notables impactos ambientales en cuanto a consumo de recursos naturales, de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. De ahí que se haya considerado siempre la dimensión ambiental como clave en un enfoque de construcción sostenible. Sin embargo, no se deben perder de vista las otras dos dimensiones para lograr el equilibrio.

La necesidad de cambiar el modelo actual de construcción pasa por aprender a realizar evaluaciones del comportamiento sostenible de una construcción.

El campo de los materiales de la construcción y el sector de la edificación ha ido en este caso un paso por delante, creando unos sistemas de cálculo y de evaluación de la sostenibilidad que marcan líneas de tendencia sobre cómo llevar a cabo una construcción sostenible.

Para el caso de la obra civil, esta vertiente sostenible no se ha tenido en cuenta en la misma medida que para el caso de la edificación. Por todo ello, en los últimos años han empezado a desarrollarse los primeros sistemas de evaluación, protocolos y estándares que empiezan a hacer notable la necesidad y la inquietud de aplicación a infraestructuras.

No se debe perder de vista que la situación está en una primera etapa, en la que cabe definir las bases sobre cómo se desarrollarán futuras metodologías. Es por ello que se debe pensar en un sistema que no sea esencialmente complejo para que sea útil y su facilidad de uso sea la mayor posible.

Dada esta situación se observa la necesidad de poner sobre la mesa las distintas actuaciones que van en esta línea para poder analizarlas y establecer unas bases que sirvan de homogeneización de los futuros métodos y que sean de fácil entendimiento y uso. En ello se centrará el presente trabajo.

La redacción de este trabajo es fruto de la experiencia adquirida sobre construcción sostenible a lo largo de una estadía profesional en el *Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya (ITeC)*. Parte de este estudio es una línea de investigación realizada para conocer la situación actual de la sostenibilidad en el sector de la construcción de infraestructuras y analizar cómo se adaptan a ella las nuevas herramientas que se están desarrollando.

## 1.2. OBJETIVOS

Debido a que la evaluación de la sostenibilidad en obra civil es novedosa, a que empiezan a despuntar distintas organizaciones que definen sistemas de evaluación y a la cierta complejidad que todo esto aparenta, se constata cierto temor y desconocimiento en esta materia para el caso de infraestructuras. Esta situación da lugar a uno de los objetivos que persigue este trabajo, que es acercar el estado del arte de forma didáctica para poder entrar en materia y aprender de ello. Para la consecución de dicho objetivo se ha estudiado el estado actual para los materiales de construcción, para la edificación y para el caso de obra civil, constatando la realidad con distintas reuniones mantenidas con diversas constructoras importantes del país.

El objetivo principal del presente trabajo es el de asentar las bases para la evaluación de la sostenibilidad en obra civil. Estas bases se establecerán a partir de lo aprendido durante el estudio de la situación actual y servirán para explicar cómo se debe realizar una evaluación, qué se debe informar y de qué modo; basándose en todo momento en el Análisis del Ciclo de Vida de la infraestructura e intentando realizar una metodología sencilla. Además, este trabajo pretende servir como precedente para que se desarrollen más estudios en base a lo aquí expuesto.

A partir de la evaluación realizada, un técnico puede conocer el impacto de una obra durante todo el ciclo de vida, y de este modo unirse a la toma de decisiones en la fase de proyecto (para una nueva construcción) o en la fase de conservación y fin de vida (si la infraestructura ya está construida). El objetivo de los datos obtenidos al realizar una evaluación del comportamiento sostenible de una infraestructura no es tan solo de informar, sino de ser la primera fase de un planeamiento teniendo en cuenta la vertiente sostenible como una variable más de decisión.

A partir de la evaluación realizada, el técnico podrá mejorar la infraestructura reduciendo ciertos impactos a partir del uso de otros materiales o incluso de otros procedimientos. De este modo se genera una mejora continua del comportamiento sostenible.

Así pues, el objetivo final del sistema de evaluación que se presentará aquí, es dar herramientas de apoyo para que la sostenibilidad sea un condicionante más en la toma de decisiones con el fin de mejorar el comportamiento sostenible de una infraestructura. Asimismo, se pretende generar competencia, no sólo económica sino también en materia de sostenibilidad, tanto entre los fabricantes de productos, para informar y reducir sus impactos para que sean usados en infraestructuras que pretendan tener un comportamiento sostenible, como entre las constructoras, para desmarcarse de sus competidoras, ya sea por cuestiones de marketing, por responsabilidad social o, incluso, para optar a proyectos que deban cumplir ciertos requisitos sostenibles.

Finalmente, con todas las bases establecidas se realiza un ejemplo teórico para que se entiendan de modo didáctico y un ejemplo práctico para dar órdenes de magnitud y mostrar los resultados que se podrían obtener de una evaluación sostenible.

### **1.3. ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO**

Para lograr el objetivo principal del trabajo, describir las bases para la evaluación del comportamiento sostenible de una infraestructura, se ha realizado un estudio partiendo de lo particular y llegando a lo general.

Esto es debido a que tanto las distintas etapas del ciclo de vida como la información que se usa para realizar la evaluación están definidas a nivel de productos de construcción. La idea principal para realizar el estudio de la infraestructura entera es aprovechar la estructura e información proporcionada por los materiales de construcción y añadirle los impactos debidos a los procedimientos de puesta en servicio así como las distintas actuaciones durante la vida útil de los elementos que conforman la infraestructura.

El apartado que da inicio al proyecto trata de forma resumida la metodología del Análisis del Ciclo de Vida para el caso en que el lector no esté familiarizado con ella ya que es el punto de partida de toda evaluación, y en ella se basan todas las metodologías de cálculo.

A continuación se explica de modo resumido los distintos tipos de ecoetiquetas existentes a nivel de producto para terminar analizando las Declaraciones Ambientales de Producto

(DAP), que es la principal fuente de información ambiental para los materiales y que se incluyen en la evaluación de toda infraestructura.

Posteriormente se exploran a fondo las Declaraciones Ambientales de Productos de la construcción y las reglas básicas de productos, que son reglas que especifican cómo se deben realizar las DAP para materiales de construcción, y de este modo poder comparar productos. La necesidad de presentar esto reside en que es el primer momento en que aparece la definición de las distintas etapas del ciclo de vida de una construcción, así como los principales indicadores que se utilizan para describir su comportamiento ambiental. Además, la etapa de producto que se informará en la evaluación de una infraestructura proviene directamente de las DAP.

Una vez realizada esta extensa pero necesaria introducción de donde provienen las primeras “reglas de juego” para una evaluación, al menos a nivel ambiental, se entra ya en el terreno de la construcción sostenible. Para ello se define lo que se entiende como construcción sostenible y se detalla el estado del arte tanto para el sector de edificación como para el de obra civil.

Se ha querido realizar un pequeño estudio del caso de edificación ya que tiene más recorrido y para poder ver, de este modo, el paralelismo que está siguiendo la obra civil en materia de construcción sostenible. En ambos casos se exponen las distintas normativas por las que se rigen o que se regirán (en caso de obra civil) las evaluaciones, así como los sistemas de evaluación más importantes del mercado. Para el caso de obra civil, se añade un apartado de la situación existente de estos temas en el ámbito de las constructoras españolas, fruto de reuniones mantenidas para tratar de abordar la fase en la que se encuentra este tema y los proyectos que se están llevando a cabo.

Una vez expuesto todo lo aprendido y la situación de la que se parte, se explica el grueso del trabajo, las bases para la evaluación de la sostenibilidad para la obra civil. En este apartado se abordan las distintas fases a seguir para la realización, desde las definiciones previas a la evaluación a la especificación detallada de qué procesos se incluyen en cada una de las etapas del ciclo de vida y los distintos indicadores de impacto que se pueden utilizar.

Para que el procedimiento de evaluación sea lo más entendedor posible, se realiza un ejemplo teórico para clarificarlo.

Además, se realiza otro ejemplo práctico para dar órdenes de magnitud en el caso analizado y mostrar el tipo de resultados que se pueden extraer de estas evaluaciones. Parte de este ejemplo ha sido realizado a modo de prueba de las nuevas herramientas que el ITeC está desarrollando. Para terminar este ejemplo se hace una mención especial al caso de CO<sub>2</sub> por ser el indicador más usado comúnmente.

Para cerrar el trabajo se proponen algunas futuras líneas de investigación que se podrían llevar a cabo a partir del trabajo presentado, así como las conclusiones obtenidas durante la realización del mismo.



---

## 2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

---

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Toda construcción, ya sea en edificación o en obra civil, produce impactos en el medioambiente a lo largo de todas las etapas de su vida útil: extracción de las materias primas y su transporte, consumo de energía necesario para la fabricación de los materiales constructivos y su transporte desde las plantas de producción hasta la obra, movimientos de tierra, consumos energéticos y residuos producidos durante la construcción, consumo energético y de agua durante su uso, mantenimiento y finalmente demolición o abandono, así como la disposición final de todos los elementos constructivos al final de su vida útil. Además, todas estas etapas están interrelacionadas, de modo que los impactos en una de ellas condicionan los de las etapas siguientes.

A pesar del elevado impacto energético y ambiental que puede tener una construcción en una de sus etapas, es necesario analizar todo el conjunto de etapas para contemplar todas las oportunidades de mejora. De este modo, podrá haber una disminución de los impactos en una etapa aumentando el peso relativo de las restantes.

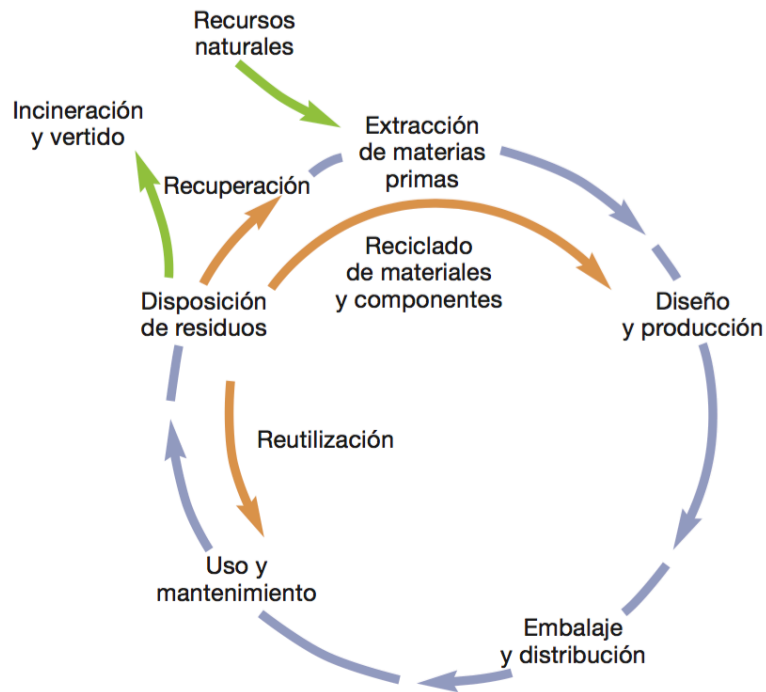
En la actualidad, la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es la mejor opción para evaluar los impactos ambientales potenciales de cualquier tipo de actividad, producto o servicio sin límites geográficos, funcionales o temporales.

Al examinarse todos los procesos seguidos por las materias primas, desde su extracción, transformación y uso hasta su retorno a la naturaleza en forma de residuos, el ACV presenta una ventaja clara frente a otras metodologías de evaluaciones de impacto ambiental. El ACV permite detectar situaciones en las que un determinado producto parece más ecológico que otro simplemente porque sus cargas ambientales se transfieren a otros procesos o zonas geográficas, sin que se produzca una mejora real desde el punto de vista global.

Aunque encontramos estudios de ACV de productos industriales desde hace más de 40 años, su aplicación al sector de la construcción es mucho más reciente, especialmente en el campo de la edificación y poco a poco se va imponiendo en el campo de la obra civil.

La aplicación del ACV en el sector de la construcción conlleva una mayor complejidad con respecto a otros sistemas más simples como la fabricación de productos y componentes. En sí, un edificio u obra civil constituyen un tipo de “producto” muy

especial, con vida útil relativamente larga, pudiendo sufrir modificaciones en su uso afectando a la unidad funcional utilizada en el ACV, con múltiples funciones, conteniendo una gran cantidad de materiales y componentes, construidos en un entorno predeterminado y dentro de una localización concreta, lo que complica el establecimiento de los límites del sistema a analizar.



*Figura 1. Ciclo de vida de un producto. Fuente: EnerBuiLCA 2012.*

## 2.2. METODOLOGÍA DEL ACV

Actualmente, la metodología general de ACV está estandarizada en las siguientes normas:

- UNE-EN ISO 14040:2006: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044:2006: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

La metodología general del ACV consta de cuatro fases, aunque es posible realizar estudios simplificados en la que se obvie alguna de ellas.

Las cuatro fases son la definición de objetivos y alcance, el análisis de inventario, la evaluación de los impactos ambientales y la interpretación de las fases precedentes. Las cuatro fases están interrelacionadas dado que la metodología del ACV es dinámica e iterativa, es decir, a medida que se obtienen resultados, se pueden reconsiderar las hipótesis iniciales.

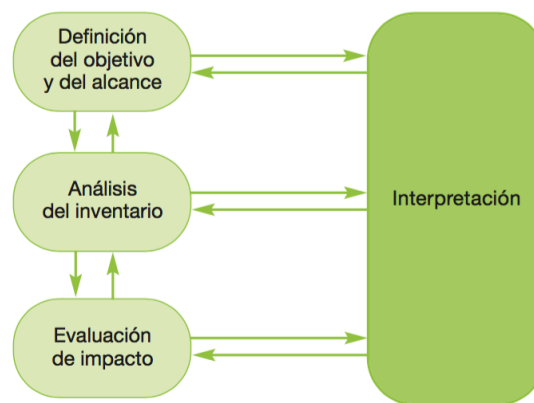


Figura 2. Fases interrelacionadas de un ACV. Fuente: EnerBuiLCA 2012.

### 2.2.1. Definición de objetivos y alcance

Según la norma ISO 14044, el objetivo y alcance de un estudio de ACV debe identificarse claramente y ser consistente con la aplicación que se persigue.

El objetivo debe indicar claramente la aplicación y las razones para desarrollar el estudio, el público al que va dirigido y si los resultados se van a utilizar con fines comparativos.

Dado que los estudios de ACV en el sector de la construcción pueden variar mucho en función de la tipología y uso de la obra, la localización geográfica de ésta y del momento de la vida en la que se encuentre el edificio o la obra civil cuando se realiza el estudio, se debe definir bien el alcance del estudio para determinar si dos proyectos son comparables.

Si se pretende comparar los resultados del ACV en dos proyectos distintos, se deberá usar la misma unidad funcional y consideraciones metodológicas equivalentes como pueden ser la función de la construcción, los límites del sistema, la calidad de los datos, la evaluación de impactos, entre otros.

De este modo, entre otros aspectos, el alcance debe definir:

- La función del sistema a estudiar, que define las características de operación de la obra. Si se pretende comparar dos proyectos diferentes, es necesario que desarrollen la misma función. Para ello se define el “equivalente funcional”, que es una representación de las características técnicas y funcionales de la infraestructura de estudio.
- La unidad funcional, que constituye la unidad de referencia para todas las entradas y salidas del sistema que se obtendrán en el análisis de inventario. En otras palabras, es la medida de la función de un producto a la que irán referidos todos los datos del sistema. La definición de esta unidad dependerá del objetivo tipo de estudio que se pretende realizar.
- Los límites del sistema, delimitan los procesos unitarios que serán incluidos dentro del análisis. En el caso de obra civil se incluyen en estos límites las etapas de producción, construcción, uso y disposición final.

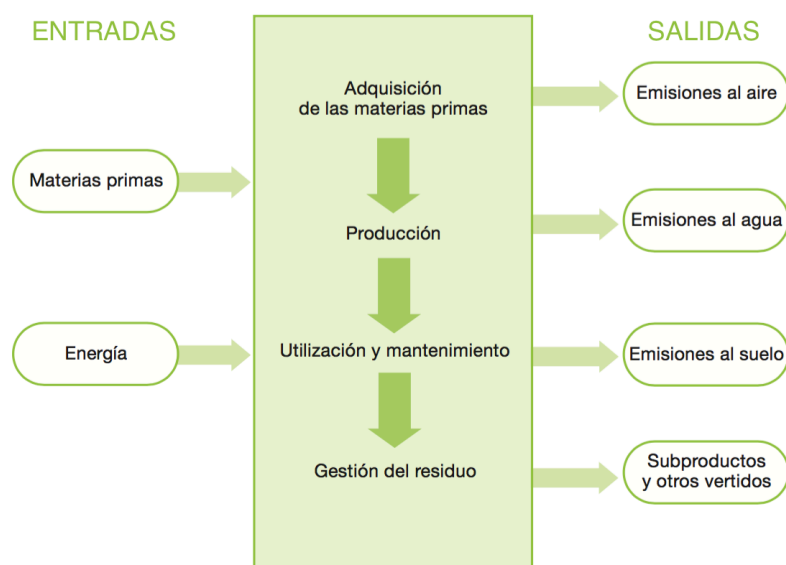
- El sistema, aquello que se está analizando como conjunto de procesos unitarios.
- Las categorías y metodologías de evaluación de impacto que se van a considerar en el estudio. Cada método de evaluación puede diferir en las categorías de impacto consideradas, sus métodos de cálculo y el peso asignado a cada una de ellas. Varios ejemplos de categorías de impacto pueden ser el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono o la acidificación del medio entre otros.
- Requisitos de calidad de los datos, que puede incluir la cobertura temporal, la cobertura geográfica y tecnología, así como especificar la precisión, amplitud y representatividad de los datos.

### 2.2.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

El análisis de inventario implica la recogida de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes para cada uno de los procesos unitarios que formen parte del sistema analizado.

De lo que se trata es de realizar un balance de flujos elementales que entran y salen del sistema analizado durante todo su ciclo de vida para la unidad funcional seleccionada. Los flujos elementales son aquellos flujos energéticos y de materiales que provienen de la naturaleza, es decir, sin ninguna transformación previa realizada por el ser humano (como puede ser el petróleo, el carbón, el agua, etc.); o bien, que van directamente a la naturaleza (como puede ser las emisiones de CO<sub>2</sub>, vertidos de nitratos al agua, etc.). En la Figura 3 se resumen las entradas y salidas cuantificadas para cada proceso unitario.

En caso de existir procesos que den subproductos o residuos reciclados o reutilizados para crear un nuevo producto, se deben aplicar criterios de asignación para repartir adecuadamente los impactos entre los distintos productos.



*Figura 3. Inventario de entradas y salidas del ciclo de vida aplicado a un proceso unitario de un sistema. Fuente: Adaptada EnerBuiLCA 2012.*

### 2.2.3. Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV)

Los resultados del inventario del ciclo de vida se evalúan durante esta etapa, para ello se agrupan de acuerdo a las categorías de impacto seleccionadas en la definición de objetivos y alcance. Cada una de las categorías se cuantifica mediante indicadores de categoría (numéricos) para los cuales se aplican modelos de caracterización determinados.

Las etapas que siguen a esta evaluación se pueden resumir en las siguientes:

- **Clasificación:** asignación de los datos del inventario a las categorías de impacto de acuerdo con el tipo de cambio que pueden ocasionar en el medioambiente. De esta etapa resulta un inventario agrupado en categorías donde sólo aparecerán aquellos flujos energéticos y de materiales que afecten a las categorías seleccionadas.
- **Caracterización:** evaluación de la relevancia de los distintos flujos para poder calcular los indicadores numéricos de cada categoría. Esta etapa implica la conversión, para cada categoría, de los resultados del ICV a unidades comunes para poder ser sumados y obtener el indicador numérico de la categoría. Esta conversión utiliza los factores de caracterización.

El resultado final que se obtiene después de estas etapas es un inventario agrupado por categorías de impacto, evaluadas cada una de ellas mediante un indicador numérico.

En la Figura 4 se ejemplifican las etapas de clasificación y de caracterización.

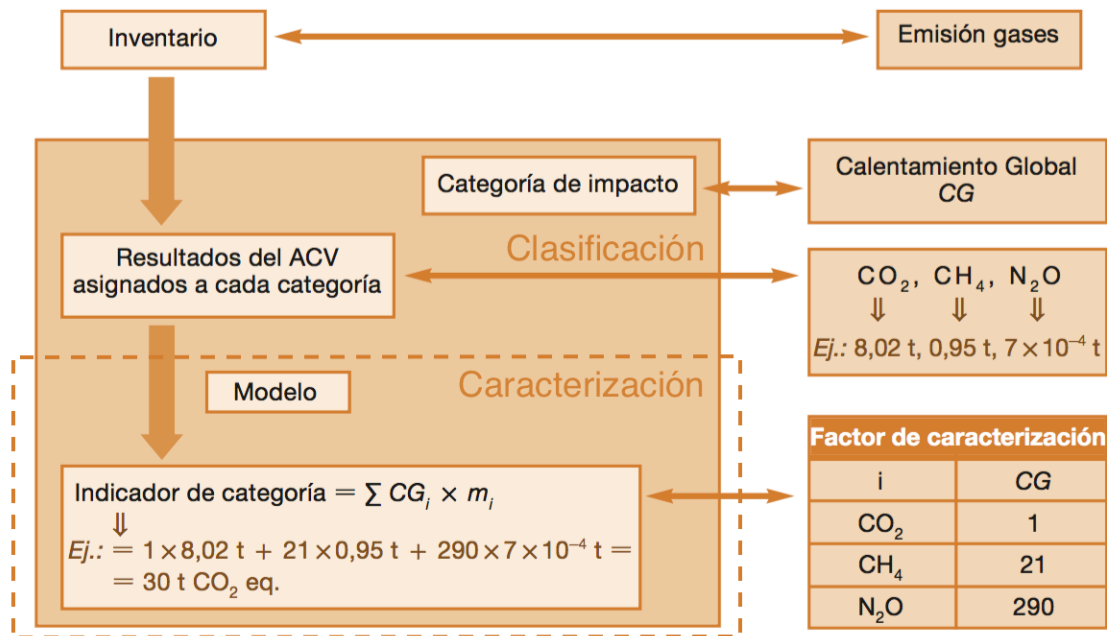


Figura 4. Ejemplo de las etapas de clasificación y caracterización para la categoría de calentamiento global. Fuente: Adaptada EnerBuiLCA 2012.

Opcionalmente se pueden considerar dos etapas más:

- **Normalización:** cálculo de la importancia relativa de los indicadores de impacto del sistema analizado en relación a las magnitudes reales o previstas a escala

nacional, continental o global. Se dividen los resultados de la caracterización por factores normalizados de referencia.

- Ponderación: ponderación subjetiva de los resultados de las distintas categorías con el fin de compararlas directamente o para agruparlas en un indicador global del proyecto. Son valoraciones subjetivas o juicios de valor y no se tratan de factores que tengan ninguna relevancia científica.

#### **2.2.4. Interpretación de resultados**

En la fase de interpretación se combinan los resultados de las fases anteriores para obtener conclusiones y recomendaciones que sean útiles para la toma de decisiones sobre el sistema analizado.

Fundamentalmente se tratan los siguientes aspectos:

- Identificación de las variables significativas, qué procesos producen un mayor impacto y cuáles se pueden obviar.
- Verificación de los resultados mediante: análisis de integridad para asegurar que todos los datos están disponibles; análisis de sensibilidad para evaluar la fiabilidad de los resultados; y consistencia, para valorar si las hipótesis, métodos y datos son coherentes con el objetivo y el alcance del estudio.
- Conclusiones y recomendaciones.

---

## 3. ECOETIQUETAS

---

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez conocidos los impactos ambientales producidos por un producto a lo largo de toda su vida, calculados mediante un Análisis del Ciclo de Vida, es necesario disponer de herramientas para dar a conocer toda esta información ambiental. De esta necesidad surgieron las declaraciones ambientales de producto, como un tipo de etiqueta ecológica que se basa en el ACV del producto declarado.

Los orígenes de las etiquetas ecológicas, o ecoetiquetas, se puede encontrar en la creciente conciencia global de proteger el medio ambiente por parte de gobiernos, empresas y público en general. Algunas empresas han empezado a reconocer que esa conciencia global puede resultar una ventaja competitiva para ciertos productos.

Las etiquetas ecológicas, son sistemas voluntarios de calificación ambiental que certifican que un producto determinado es más respetuoso con el medio ambiente que la mayoría de su categoría.

El objetivo global de las etiquetas y declaraciones ambientales radica en la comunicación de información verificable y exacta, que no induzca a error, de los aspectos medioambientales de los productos y servicios. Tienen como fin fomentar y satisfacer la demanda de aquellos productos y servicios que causan un menor daño en el medio ambiente, estimulando así el potencial para la mejora continua del medio ambiente a partir de los mecanismos de mercado.

Las ecoetiquetas son útiles para distinguir rápidamente los mejores productos desde el punto de vista ambiental. Sin embargo, se deben conocer los distintos tipos de ecoetiqueta ya que la información que nos dan sobre el producto es muy distinta dependiendo si son de tipo I, II o III.

Todas las etiquetas y declaraciones ambientales siguen una serie de principios generales especificados en la Norma UNE-EN ISO 14020: *Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales*.

Además, se han desarrollado una serie de normativas para cada tipo de etiqueta ecológica:

- Tipo I - UNE-EN-ISO 14024: Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Etiquetado ecológico Tipo I. Principios y procedimientos

- Tipo II - UNE-EN-ISO 14021: Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Autodeclaraciones medioambientales (Etiquetado ecológico Tipo II)
- Tipo III - UNE-EN-ISO 14025: Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos

### **3.2. TIPO I: ETIQUETA ECOLÓGICA**

El objetivo de los programas de etiquetado ecológico Tipo I es contribuir a una reducción de los impactos medioambientales asociados a los productos. Para ello, identifican aquellos productos que cumplen con los criterios específicos del programa Tipo I para considerarlos globalmente preferibles para el medio ambiente.

Las etiquetas Tipo I permiten la identificación de los productos y servicios ambientalmente compatibles de una forma sencilla, no cuantifican los datos ambientales.

Los criterios ecológicos del producto, asignados por organismos oficiales, se establecen para destacar aquellos productos que resultan preferibles para el medio ambiente dentro de una misma categoría de producto, basándose en una diferencia medible de su impacto medioambiental.

Una vez establecidos los criterios ecológicos, todos los productos que cumplan con estos criterios, se consideran aptos para llevar la etiqueta ecológica.

Los criterios ecológicos del producto se basan en los indicadores resultantes de las consideraciones de su ciclo de vida, para garantizar que el menor impacto ambiental de producto no es debido por una transferencia de los impactos de una etapa del ciclo de vida a otra distinta.

En resumen, las etiquetas ecológicas de Tipo I distinguen aquellos productos que tienen un mejor comportamiento ambiental en relación con la media del mercado. Se trata de un programa voluntario, multi-criterio y desarrollado por una tercera parte con el que se concede una licencia para el uso de ecoetiquetas en productos. Certifican de forma oficial que ciertos productos o servicios tienen un impacto menor sobre el Medio Ambiente.

### **3.3. TIPO II: AUTODECLARACIÓN MEDIOAMBIENTAL**

Las autodeclaraciones ambientales (ecoetiquetas Tipo II) son una autodeclaración informativa realizada por los propios fabricantes, importadores, distribuidores, detallistas o cualquier otro que pueda ser beneficiario de dicha declaración.

Las autodeclaraciones son realizadas por los propios fabricantes e informan de aspectos ambientales de productos para considerarlos como productos ecológicos. Se trata de textos, símbolos o gráficos y exigen la responsabilidad de cumplimiento del contenido de la información, tales como etiquetas en el envase del producto, boletines técnicos, avisos o publicidad.



Algunos ejemplos de autodeclaraciones ambientales los podemos encontrar en la misma Norma UNE-EN-ISO 14021 en la que se detallan las calificaciones de interpretación y utilización de una serie de términos usados frecuentemente en las autodeclaraciones medioambientales. Algunos de ellos son: compostable,gradable, diseñado para desmontar, producto de vida prolongada, energía recuperada, reciclable, contenido reciclado, consumo reducido de energía, consumo reducido de agua, utilización reducida de recursos, reutilizable y rellenable o reducción de residuos entre otros.

### **3.4. TIPO III: DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO**

Las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), en inglés, Environmental Product Declaration (EPD), aportan información cuantitativa de los impactos ambientales de un producto a lo largo de su ciclo de vida. Esta declaración puede hacerse sobre los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida (llamado “de la cuna a la tumba”) o hasta la fase de producción (llamado “de la cuna a la puerta”).

Las ecoetiquetas de Tipo III son de tipo voluntario y tienen que estar verificadas por un agente externo.

La información que contiene una DAP se basa en el análisis del ciclo de vida de un material o sistema: consumo energético, agotamiento de recursos, consumo de agua, residuos sólidos, cambio climático, acidificación atmosférica, polución del aire y agua, destrucción de la capa de ozono, formación de ozono fotoquímico entre otros.

En sí mismas, no definen criterios de preferencia ambiental ni establecen requisitos mínimos a cumplir, simplemente informan de manera objetiva a partir del ACV.

Los objetivos que persigue una declaración ambiental de producto son:

- Proporcionar información basada en el ACV e información adicional de los aspectos ambientales de los productos
- Ayudar a los compradores y usuarios a hacer comparaciones entre los productos
- Promover la mejora del desempeño ambiental
- Proporcionar información para evaluar los impactos ambientales de los productos a lo largo de su ciclo de vida

Las declaraciones ambientales de producto son aplicables a todo tipo de productos y están diseñadas para satisfacer las diversas necesidades de información dentro de una cadena de suministro y de los productos finales. Sin embargo, la parte más ventajosa es que una DAP se puede considerar:

- Objetiva: mediante el uso de métodos científicos aceptados y válidos sobre las distintas normas internacionales para la evaluación del ACV.
- Verificable: debido a que la información que contiene se recoge y calcula sobre una base de reglas de cálculo aceptadas y armonizadas.

- Precisa: la información debe estar actualizada continuamente por las empresas para la documentación y los procedimientos de seguimiento.
- Creíble: a través de los requisitos de rutina, revisión, aprobación y seguimiento por parte de un verificador independiente y reconocido.

Para poder realizar una comparación entre productos se deben cumplir varias condiciones, como por ejemplo que la definición y descripción de la categoría de producto sean idénticas, el objetivo y alcance del ACV realizado sea el mismo para los productos y que las categorías de impacto sean las mismas, así como las etapas consideradas en el ACV.

Los grupos de productos, por lo general, difieren en su rendimiento medioambiental requiriendo normas específicas para la categoría de productos. Para ello, es conveniente que para cada categoría existan unas directrices que marquen como se debe realizar el estudio del ACV y las DAP para el producto en cuestión. Estas directrices se conocen como Reglas de Categoría de Producto (RCP).

Las Reglas de Categoría de Producto recogen los requisitos y directrices que se deben seguir para desarrollar la declaración ambiental de producto, incluyendo el estudio del análisis del ciclo de vida correspondiente. Estas reglas son vitales para el concepto de declaraciones ambientales, ya que permiten la transparencia y la comparabilidad entre distintas DAP basadas en las mismas RCP.

La categoría de producto debe establecerse considerando las reglas de armonización que prevé la Norma de aplicación. Se entiende que un grupo de productos se puede constituir como una categoría de producto si puede cumplir funcionales equivalentes y aplicaciones similares, basándose en que pueda aplicarse la misma unidad funcional.

En sí, las reglas de categoría de producto:

- Identifican e informan sobre el objetivo y el alcance de la información basada en el ACV para la categoría de producto.
- Determinan las etapas del ciclo de vida a incluir, los parámetros que se cubren y la forma en que dichos parámetros se deben recopilar e informar.
- Definen las reglas para desarrollar escenarios.

Para finalizar este apartado se resume en la Tabla 1 los aspectos más importantes de cada tipo de ecoetiqueta.

<b>Tipo I</b> <b>Etiqueta ecológica</b>	<b>Tipo II</b> <b>Autodeclaración</b>	<b>Tipo III</b> <b>Declaración ambiental de producto</b>
UNE-EN-ISO 14024	UNE-EN-ISO 14021	UNE-EN-ISO 14025
Desarrolladas por una entidad tercera e informan sobre parámetros establecidos en cada caso, que cumplan unos determinados requisitos ambientales sin información cuantitativa	Son autodeclaraciones que realiza el fabricante del producto referidas a alguna característica ambiental del producto. No necesitan estar verificadas por terceros.	Aportan información basada en el análisis de ciclo de vida (ACV) del producto, es información objetiva y cuantitativa de los impactos ambientales. Están verificadas por terceros.
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema voluntario</li> <li>- Menor afectación al medio ambiente</li> <li>- Ciclo de vida (ACV)</li> <li>- Categoría de producto específica</li> <li>- Verificación por tercera parte</li> <li>- Distintivo específico</li> <li>- Información de empresa a consumidor (B2C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema voluntario</li> <li>- Menor afectación al medio ambiente</li> <li>- Autodeclaración</li> <li>- No reglamentadas</li> <li>- Simbología y terminología</li> <li>- Información de empresa a consumidor (B2C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema voluntario</li> <li>- Ni menor ni mayor afectación al medio, se basa en la transparencia de datos</li> <li>- Ciclo de vida (ACV)</li> <li>- Categoría de producto específica</li> <li>- Verificación por tercera parte</li> <li>- No es un distintivo, es un documento</li> <li>- Información de empresa a empresa (B2B)</li> </ul>

*Tabla 1. Resumen de los aspectos más importantes de cada tipo de ecoetiqueta. Fuente: Elaboración propia.*



---

## 4. DAP EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

---

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en el apartado anterior, las declaraciones ambientales de producto consisten en un resumen de la evaluación del análisis del ciclo de vida de un producto. En ella el fabricante puede decidir el alcance del ACV y declarar todo el ciclo de vida o tan solo una parte.

Estos tipos de ecoetiqueta no dan unos criterios de preferencia del producto en relación al resto del mercado, sino que dan información. En el caso del sector de la construcción esta información es particularmente útil para poder evaluar el ciclo de vida de toda una construcción o de una parte de ella.

De este modo, las DAP de productos concretos pueden utilizarse en la elaboración de estudios de ACV de sistemas más complejos, incluso de una obra entera. En este sentido, las DAP permiten disponer de información más precisa de sus materiales constructivos que la que se pueden obtener, por ejemplo, a partir de bases de datos existentes.

Cada categoría de producto requiere de unas Reglas de Categoría de Producto para poder realizar declaraciones ambientales de producto de una forma armonizada y garantizar su comparabilidad.

En el caso del sector de la construcción, las declaraciones ambientales de producto y las reglas de categoría de producto se focalizan en la Norma UNE-EN 15804: *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción*.

Este estándar europeo proporciona las principales reglas de categorización de productos para todos los productos y servicios de la construcción además de una estructura que garantiza que todas las declaraciones ambientales de producto se derivan, verifican y presentan de forma armonizada.

Dado que dicho estándar asienta las bases sobre qué se debe declarar, las reglas de desarrollo de los escenarios, el cálculo del ACV, y sobretodo, define las fases del ciclo de vida en el sector de la construcción; se destina un apartado más extenso para analizarlo.

En el ámbito de las declaraciones ambientales de producto en general, y en las DAP de productos de construcción en particular, existen distintos programas en los que el administrador de dicho programa realiza RCP basándose en la UNE-EN 15804 para unos determinados productos, incluso para productos genéricos. Los administradores de programa, o los distintos comités de normalización, aprueban y emiten las reglas de categorías de producto, tras un proceso en el que participan las partes interesadas y que debe ser transparente. Estas RCP proporcionan criterios comunes para productos que desempeñan una función equivalente.

La Norma UNE-EN 15804 no establece el procedimiento de cálculo para obtener una DAP, sino que es una guía para elaborar las RCP.

Las RCP son desarrolladas por cada Administrador de Programa DAP. Estas contienen parámetros como las categorías y tipologías de productos que engloban, las etapas de ciclo de vida incluidas, las reglas de cálculo del sistema, los criterios para introducir datos (calidad), la descripción del análisis de inventarios, etc.

El objetivo deseado es la armonización de estas RCP para cada familia de producto y hacer converger los criterios para que puedan ser utilizadas de manera unificada en el análisis final de una construcción, que es el objetivo principal de una DAP en el sector de la construcción. La dispersión de las RCP genera DAP con diferentes contenidos lo que imposibilita la comparación de las DAP en ciertos casos.

Actualmente, se está trabajando en proyectos como la ECO Platform, donde una asociación de administradores de programa de DAP tratan de generar un sello común. Se trata de obtener una representatividad europea, con un sello que englobe las DAP resultantes.

Las DAP dirigidas a la construcción en ámbito nacional son las denominadas Declaración Ambiental de Productos de la Construcción (DAPc), cuyo administrador del programa es el “Col·legi d’aparelladors, arquitectes tècnics i enginyers d’edificació de Barcelona”. Otro administrador de programa a nivel nacional es AONOR con el sistema GlobalEPD.

Existen varios programas de ecoetiquetados de DAP para construcción a nivel internacional, en la Figura 5 se muestra algunos de los principales programas de DAP en el sector de la construcción.


Sistema/Programa DAP	Administrador	País	Logotipo y página web
Déclaration sur les caractéristiques écologiques de produits utilisés dans la construction	SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein)	Suiza	 <a href="http://www.sia.ch">http://www.sia.ch</a>
BRE	BRE Environmental Profiles Certification	Reino Unido	 <a href="http://www.bre.co.uk">http://www.bre.co.uk</a>
MRPI® (Milieu Relevance Product Informatie)	NVTB (Nederlands Verbond Toelevering Bouw)	Holanda	 <a href="http://www.mrpi.nl">http://www.mrpi.nl</a>
Umwelt-Deklarationen (EPD)	IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.)	Alemania	 <a href="http://bau-umwelt.de">http://bau-umwelt.de</a>
Programme de Déclaration Environnementale et Sanitaire pour les produits de construction (FDE&S)	AFNOR Groupe	Francia	 <a href="http://www.inies.fr">http://www.inies.fr</a>
RT Environmental Declaration	The Building Information Foundation RTS	Finlandia	 <a href="http://www.rts.fi">http://www.rts.fi</a>
EPD - Norge	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner	Noruega	 <a href="http://www.epd-norge.no">http://www.epd-norge.no</a>
EPD® system	International EPD Consortium	Internacional	 <a href="http://www.environdec.com">http://www.environdec.com</a>
The Green Standard EPD System	The Green Standard	Estados Unidos	 <a href="http://www.thegreenstandard.org">http://www.thegreenstandard.org</a>
DAPc - Declaración Ambiental de Productos en el sector de la Construcción	CAATEEB (Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona)	España	 <a href="http://es.csostenible.net">http://es.csostenible.net</a>

Figura 5. Principales programas de DAP del sector de la construcción a nivel mundial. Fuente: EnerBuiLCA 2012.

## 4.2. RCP BÁSICAS PARA PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar cómo evaluar la sostenibilidad en el ámbito de la obra civil. Tal como se comentará más adelante, además de unos marcos generales y unas metodologías de cálculo a seguir para realizar dicha evaluación, se deberá contabilizar los elementos más pequeños de una obra, los materiales.

Para poder realizar el estudio de la parte medioambiental de los materiales de la construcción se pueden aprovechar las declaraciones ambientales de productos explicadas en anteriores apartados. En sí, la evaluación de la parte medioambiental de la sostenibilidad en una construcción no deja de ser más que una declaración ambiental de un gran producto más complejo que se compone de partes más pequeñas.

En lo que a las declaraciones ambientales de productos de construcción se refiere, tal como se ha apuntado en anteriores apartados, se focalizan en la Norma UNE-EN 15804. Esta norma tiene por objetivo establecer las reglas de categoría de producto básicas para

cualquier producto y servicio de construcción. A partir de dichas reglas básicas, se pueden definir RCP para productos específicos o realizar declaraciones ambientales de productos más genéricos.

Además, en dicha norma se dan las bases sobre cómo realizar un estudio de análisis de ciclo de vida para un producto de construcción, y la definición de las distintas etapas que se evalúan. Por extensión, estas etapas serán las mismas a evaluar cuando se realice un estudio de una construcción a lo largo de todo su ciclo de vida.

En próximos apartados, cuando se expliquen los métodos de evaluación en una obra civil, se referirá en distintas ocasiones a esta norma.

Por todo ello, se cree conveniente destinar un apartado a explicar lo más importante que define esta norma así como las bases necesarias para realizar la evaluación de la sostenibilidad de una obra civil de manera completa.

#### **4.2.1. Objetivos**

Una declaración ambiental de producto de acuerdo con la Norma UNE-EN 15804 proporciona información ambiental cuantificada de un producto o servicio de construcción, sobre una base científica y armonizada. El propósito de una DAP en el sector de la construcción es proporcionar la base para la evaluación de una edificación u obra civil e identificar aquellos que causan un impacto menor sobre el medio ambiente.

Las reglas de categoría de producto básicas tienen como objetivos:

- Definir los parámetros a declarar y la forma en que se recopila en la declaración.
- Describir qué etapas del ciclo de vida de un producto se consideran en la DAP y qué procesos se van a incluir en las etapas del ciclo de vida.
- Definir las reglas para el desarrollo de escenarios.
- Incluir las reglas para el cálculo del inventario del ciclo de vida y la evaluación del impacto en que se apoya la DAP, así como la calidad de datos a aplicar.
- Incluir las reglas para consignar la información ambiental predeterminada, que no está cubierta por el ACV de un producto, proceso o servicio de construcción, cuando sea necesario.
- Definir las condiciones en las que distintos productos de la construcción se pueden comparar sobre la base de la información proporcionada por las DAP.

#### **4.2.2. Etapas del ciclo de vida y módulos de información**

Las distintas etapas del ciclo de vida se dividen en módulos de información, que son una recopilación de datos utilizada como base para la declaración ambiental y que abarca a un proceso unitario o a una combinación de ellos que forman parte del ciclo de vida de un producto.



Los módulos de información dentro de cualquiera de las etapas del ciclo de vida se comunican en función del tipo de DAP (según el número de etapas que cubre la DAP). Se incluyen los impactos y aspectos relacionados con las pérdidas en el módulo en el que éstas se producen (es decir, la producción, el transporte y tratamiento de residuos y la eliminación de los productos y materiales perdidos).

La información ambiental de una DAP que cubra todas las etapas del ciclo de vida se divide en los grupos de información A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4 y el módulo D. De los cuáles sólo es obligatorio declarar los módulos de la etapa A1-A3. Los distintos módulos de información, agrupados en los distintos grupos son los siguientes:

*A1 - A3: Etapa de producto*

- A1: extracción y procesamiento de materias primas, procesamiento de las entradas que constituyen materiales secundarios
- A2: transporte al fabricante
- A3: fabricación

*A4 - A5: Etapa de proceso de construcción*

- A4: transporte a la obra
- A5: instalación en el edificio u obra civil

*B1 - B5: Etapa de uso, relacionado con la estructura del activo*

- B1: uso o aplicación del producto instalado
- B2: mantenimiento
- B3: reparación
- B4: sustitución
- B5: rehabilitación

*B6 - B7: Etapa de uso, relacionado con el funcionamiento del activo*

- B6: uso de energía en servicio
- B7: uso del agua en servicio

*C1 - C4: Etapa de fin de vida*

- C1: deconstrucción, demolición
- C2: transporte hasta el lugar de tratamiento de los residuos
- C3: tratamiento de residuos para su reutilización, recuperación y/o reciclaje
- C4: eliminación

*D: Beneficios más allá de los límites del sistema*

- D: Potencial de reutilización, recuperación y/o reciclaje, expresados como cargas y beneficios netos

En la Figura 6 se puede ver los distintos módulos de información a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida.

#### **4.2.3. Tipos de DAP en función de las etapas del ciclo de vida cubiertas**

Tal como se ha comentado anteriormente la única etapa en la que es obligatorio declarar información en una DAP es la de producto, A1 - A3. De este modo, puede ser que en las DAP no queden cubiertas todas las etapas del ciclo de vida. Este hecho se ha de informar en la declaración y por ello se identifican tres tipos de DAP:

- “Cuna a puerta”: solo cubren la etapa de producto, en la que se recoge el suministro de materias primas, el transporte, la fabricación y los procesos asociados, es decir, los módulos A1, A2 y A3.
- “Cuna a puerta con opciones”: cubren la etapa de producto y otras etapas seleccionadas del ciclo de vida, están basadas en los módulos A1 a A3 además de otros opcionales como puede ser el fin de vida o el módulo de información adicional D.
- “Cuna a tumba”: cubren el ciclo de vida de un producto de acuerdo a los límites del sistema. En este tipo de DAP se recogen todos los módulos de información A1 a C4 y se puede incluir el módulo de información D.

En la Figura 6 se puede observar, a parte de los distintos módulos de información, estas tipologías de declaraciones ambientales de producto.

Información de la evaluación del edificio																		
INFORMACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL EDIFICIO																		
Cuna a puerta Unidad declarada	Cuna a puerta con opciones Unidad declarada / Unidad funcional	Cuna a tumba Unidad funcional	A1-3			A4-5		B1-7			C1-4				D			
			Etapa de producto			Etapa de proceso de construcción		Etapa de uso			Etapa de fin de vida							
			A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2		C3	C4	
			Suministro de materias primas	Transporte	Fabricación	Transporte	Etapa de proceso de construcción	Instalación	Uso	Mantenimiento	Reparación	Sustitución	Rehabilitación	Deconstrucción, demolición		Transporte	Tratamiento de residuos	Eliminación de residuos
			Escenario			Escenario		Escenario			Escenario			Escenario				
Cuna a puerta Unidad declarada			Escenario			Escenario			Escenario			Escenario						
			B6			Uso de energía en servicio			Escenario									
			B7			Uso de agua en servicio			Escenario									
			Escenario															
						</												

#### 4.2.4. Reglas para el cálculo del ACV

El objetivo que persigue esta norma es el de armonizar las declaraciones ambientales de producto para el sector de la construcción, de modo que es necesario definir algunos de los conceptos expuestos en el apartado en que se explicaba la metodología del ACV. La norma en sí, pretende dar instrucciones sobre cómo se debería realizar el ACV en el caso de productos de la construcción para realizar una DAP, se recoge aquí algunas de las explicaciones que se han considerado relevantes para la comprensión de este trabajo.

##### Unidad funcional

La unidad funcional define el modo en que se cuantifican las funciones o las características de comportamiento que se identifican en el producto. El propósito es obtener una referencia que permita normalizar los resultados del ACV relativos a los flujos materiales del producto (datos de entrada y salida) y cualquier otra información, para poder obtener todos los datos expresados en una base común.

La definición de la unidad funcional se realiza en base a:

- El uso funcional o las características de comportamiento pertinentes cuantificadas del producto de la construcción cuando se encuentra integrado en un activo, ya sea un edificio u obra civil, considerando el equivalente funcional del activo.
- La vida útil de referencia del producto o de la requerida de la construcción en las condiciones de uso definidas.

##### Unidad declarada

La unidad declarada se puede utilizar en lugar de la unidad funcional cuando ésta no está bien establecida o se desconoce la función exacta del producto integrada en la construcción.

La unidad declarada proporciona una referencia que permite normalizar los flujos materiales del módulo de información del producto para poder obtener todos los datos expresados en una base común.

La unidad declarada se refiere a las aplicaciones típicas de cada producto, en el caso de las DAP de la construcción, deben ser de alguno de los siguientes tipos:

- Un elemento o conjunto de elementos, por ejemplo, un ladrillo con ciertas dimensiones especificadas indicando unas dimensiones.
- Masa (kg), por ejemplo 1 kg de cemento.
- Longitud (m), por ejemplo 1 m de colector.
- Área (m<sup>2</sup>), por ejemplo 1 m<sup>2</sup> de losa de hormigón.
- Volumen (m<sup>3</sup>), por ejemplo 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

#### Vida útil de referencia

El fabricante del producto debe proporcionar la información de la vida útil de referencia en una DAP si ésta cubre la etapa de uso. La vida útil de referencia debe referirse al comportamiento técnico y funcional del producto dentro de una construcción.

Esta vida útil de referencia depende de las propiedades del producto y en las condiciones de referencia de uso.

#### Límites del sistema

El ACV se realiza definiendo unos límites del sistema, es decir, se definen los procesos unitarios que se incluyen en cada uno de los módulos de información analizados para un sistema.

De este modo, quedan claros cuáles son los límites del sistema del producto estudiado y, en particular, el límite con cualquier producto anterior o posterior en la vida de una construcción.

El establecimiento de los límites del sistema sigue dos principios:

- “Principio de modularidad”: si los procesos influyen en el comportamiento ambiental del producto durante su ciclo de vida, estos procesos se asignan al módulo del ciclo de vida en que se producen; todos los aspectos e impactos ambientales se declaran en la etapa del ciclo de vida en que aparecen.
- “El que contamina paga”: los procesos de tratamiento de residuos se asignan al sistema del producto que genera el residuo hasta que se alcance el estado de fin de residuo.

#### **4.2.5. Etapa de producto**

En la norma se detallan los límites del sistema para cada una de las etapas del ciclo de vida del producto para determinar qué se incluye en cada módulo de información. Como el objetivo de este trabajo es el de la evaluación de toda una obra civil, y no de un producto en concreto, no se cubrirá la explicación de la totalidad del ciclo para un producto.

Como se verá en posteriores apartados, para la evaluación de una obra civil, las fases A1 a A3 se consideran del mismo modo que en el caso de un producto. Los límites del sistema quedan fijados, entonces, por esta norma. Por ello, se considera explicar aquí esta etapa y no el resto.

#### Etapa de producto

La etapa de producto es la única obligatoria en una DAP y comprende los módulos de información A1 a A3. El límite se establece para incluir aquellos procesos que proporcionan las entradas de material y energía en el sistema, y los procesos posteriores de fabricación y transporte hasta la puerta de la fábrica, así como el tratamiento de los residuos generados por dichos procesos.

En el caso de la entrada de materiales secundarios o de energía recuperada de combustibles secundarios, el límite del sistema entre el sistema de estudio y el anterior se establece en el punto en el que las salidas del sistema anterior alcanzan el estado fin de residuo.

La etapa de producto incluye:

*A1: Suministro de materias primas*

- Extracción y procesamiento de materias primas y la producción y procesamiento de biomasa.
- Reutilización de productos o materiales de un sistema del producto anterior.
- Procesado de materiales secundarios utilizados como entrada para la fabricación del producto, pero sin incluir aquellos productos que son parte del tratamiento de residuos en el sistema del producto anterior.
- Generación de electricidad, vapor, y calor a partir de recursos de energía primaria, incluyendo también su extracción, refinado y transporte.
- Valoración energética (recuperación de energía) y otros procesos de recuperación a partir de combustibles secundarios, pero sin incluir aquellos procesos que son parte del tratamiento de residuos en el sistema del producto anterior.

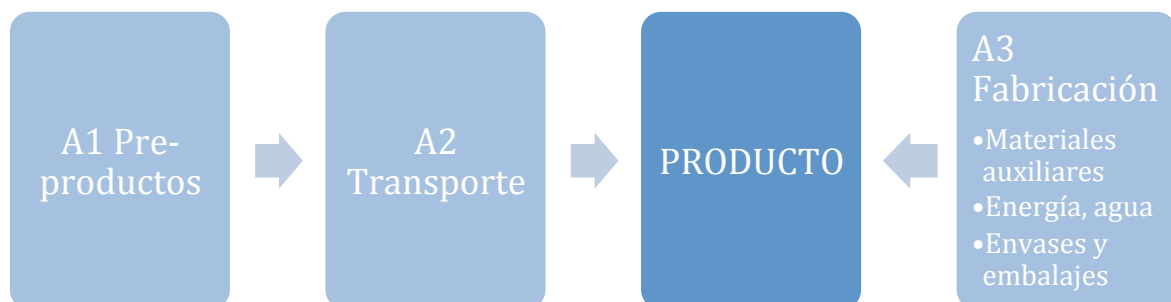
*A2: Transporte*

- Transporte hasta la puerta de la fábrica y transporte interno

*A3: Fabricación*

- Producción de materiales auxiliares o pre-productos
- Fabricación de productos y co-productos
- Fabricación de envases y embalajes

En toda la etapa de producto se incluye también el tratamiento hasta el estado fin de residuo o la eliminación del residuo final, incluyendo los envases y embalajes que no franquean la puerta de la fábrica con el producto.



*Figura 7. Representación esquemática de los límites del sistema de la etapa de producto. Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.2.6. Indicadores que se incluyen en una DAP

Según esta norma, los indicadores de los impactos que se pueden producir en cada etapa del ACV y que se deben incluir en una DAP son los que se indican a continuación.

Estos indicadores se utilizarán también cuando se declare una obra de construcción entera.

##### *Indicadores ambientales*

Indicador	Unidades
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles, ADP_e	kg Sb eq
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles, ADP_f	MJ
Potencial de acidificación del suelo y agua, AP	kg SO <sub>2</sub> eq
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico, ODP	kg CFC-11 eq
Potencial de calentamiento global, GWP	kg CO <sub>2</sub> eq
Potencial de eutrofización, EP	kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq
Potencial de formación de ozono troposférico, POCP	kg etileno eq

*Tabla 2. Parámetros que describen los impactos ambientales. Fuente: Adaptada UNE-EN 15804 2012.*

##### *Indicadores de uso de recursos*

Indicador	Unidades
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima	MJ
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima	MJ
Uso total de energía primaria renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	MJ
Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima	MJ
Uso de la energía primaria no renovable utilizada como materia prima	MJ
Uso total de energía primaria no renovable (energía primaria y recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia)	MJ
Uso de materiales secundarios	kg
Uso de combustibles secundarios renovables	MJ
Uso de combustibles secundarios no renovables	MJ

Uso neto de recursos de agua dulce	m <sup>3</sup>
------------------------------------	----------------

*Tabla 3. Parámetros que describen el uso de los recursos. Fuente: Adaptada UNE-EN 15804 2012.*

Indicadores de las categorías de residuos

Indicador	Unidades
Residuos peligrosos eliminados	kg
Residuos no peligrosos eliminados	kg
Residuos radiactivos eliminados	kg

*Tabla 4. Parámetros que describen las categorías de residuos. Fuente: Adaptada UNE-EN 15804 2012.*

Indicadores de los flujos que abandonan el sistema

Indicador	Unidades
Componentes para su reutilización	kg
Materiales para el reciclaje	kg
Materiales para la valorización energética (recuperación de energía)	kg
Energía exportada	MJ

*Tabla 5. Parámetros que describen los flujos de salida. Fuente: Adaptada UNE-EN 15804 2012.*



---

## 5. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

---

### 5.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se pretende realizar un pequeño resumen de la situación actual de la sostenibilidad en el sector de la construcción. Para ello, se realizará una primera aproximación a lo que se entiende por construcción sostenible seguida de un estudio del marco normativo que lo regula.

Dado que la sostenibilidad en edificación está más desarrollada que en obra civil, se ha decidido dedicar un apartado al sector de la edificación para poder observar, posteriormente, el paralelismo que existe entre ambos sectores. Un paralelismo que resulta obvio y lógico ya que el proceso de evaluación termina convergiendo en los elementos más pequeños de un sistema constructivo, los materiales, que son los que han asentado las bases de toda evaluación sostenible.

### 5.2. DEFINICIÓN

El concepto de construcción sostenible va ligado del de desarrollo sostenible, hasta tal punto que es la manera que tiene el sector de la construcción de contribuir al desarrollo sostenible. Por ello resulta necesario entender la noción de desarrollo sostenible.

La primera vez que se habla del término “desarrollo sostenible” se encuentra en un informe presentado por la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo a la Asamblea General de la ONU en 2007, en dicho informe se explica que “La humanidad tiene la capacidad de lograr un desarrollo sostenible para asegurar que cumple con las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

El mismo documento declara que la satisfacción de las necesidades y aspiraciones de las personas es el principal objetivo del desarrollo. Sin embargo, un gran volumen de población en los países en desarrollo no tiene sus necesidades básicas cubiertas, y tiene aspiraciones legítimas para mejorar su calidad de vida.

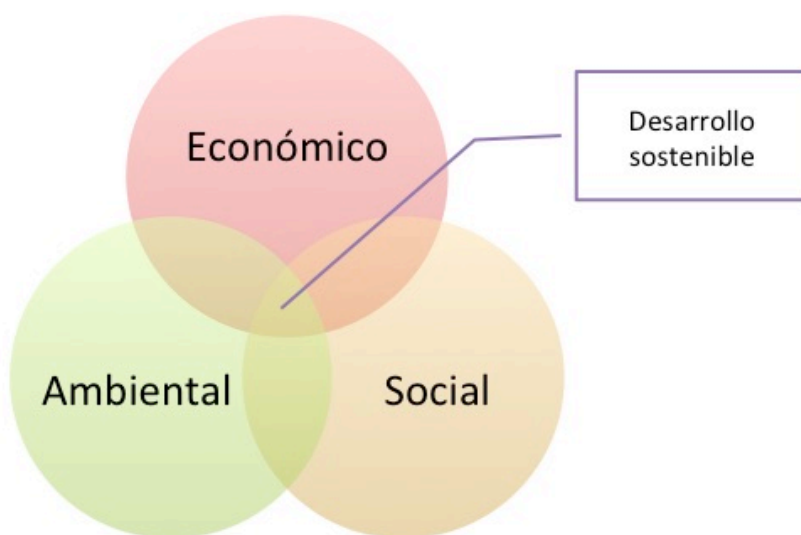
Además, el gran aumento de la población y el impacto de sus actividades, están produciendo cambios importantes en la atmósfera, el suelo, el agua, las plantas y los animales. Se está permitiendo generar un nivel de actividad enorme cuyos impactos están

produciendo efectos significativos y rápidos sobre el clima, con lo que se está generando un riesgo para la propia supervivencia. Así pues, se considera necesario introducir cambios en los modelos de producción y consumo.

Por todo ello, cuando se emplea el término “sostenibilidad” se refiere a tres dimensiones básicas que están interrelacionadas:

- Económico: capaz de proporcionar bienes y servicios necesarios para satisfacer las necesidades humanas.
- Ambiental: dimensión necesaria para no poner en riesgo los ecosistemas del planeta.
- Social: la mejora del bienestar y nivel de vida de una población.

El equilibrio de las tres dimensiones resulta esencial para garantizar el desarrollo sostenible ya que el desarrollo económico permitirá abastecer a una población cada vez mayor mejorando su nivel de vida, pero el deterioro ambiental limita las posibilidades del desarrollo económico y tiene efectos directos sobre la salud y el bienestar de las personas (la componente social).



*Figura 8. Equilibrio de las tres dimensiones de la sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia.*

El gran crecimiento económico y el consiguiente aumento de la calidad de vida que se ha producido durante el último siglo, ha ido a merced de un aumento similar en el uso de los recursos, especialmente en energía, lo que ha llevado a una degradación ambiental evidente. El reto actual, será entonces, el de frenar los impactos negativos debidos a las actividades humanas.

Tal como se ha visto, para alcanzar un desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente deberá constituir parte integrante del proceso de desarrollo pero no deberá

considerarse de forma aislada. Muchas veces se asocia, de manera equívoca, el concepto de sostenibilidad únicamente a la dimensión ambiental.

Volviendo al sector de la construcción, se entiende por construcción la vivienda, las infraestructuras y los equipamientos, así como la forma en que estos se interrelacionan. La construcción es en sí misma una actividad esencial para la mejora de la calidad de vida humana, cumpliendo así su aspecto más social. Sin embargo, el modelo actual de construcción presenta algunas inconsistencias que requieren un replanteamiento para hacer que esta actividad sea compatible con los principios de un modelo de desarrollo sostenible.

El sector de la construcción está integrado por un amplio colectivo de agentes de carácter público y privado que influyen de manera decisiva sobre él. Por la complejidad del sector, resulta especialmente difícil que el proceso de construcción en su conjunto se desarrolle cumpliendo con los criterios del desarrollo sostenible. Por el contrario, resulta sencillo que se den comportamientos cuyos resultados no conduzcan a una construcción sostenible.

No resulta fácil encontrar una única definición precisa de construcción sostenible, abundan aproximaciones al concepto en las que sólo se consideran aspectos parciales de la sostenibilidad. Así mismo, se habla largo y tendido de “construcción verde” enfatizando sólo los aspectos ambientales de una construcción, olvidándose de los aspectos sociales y económicos.

La construcción, para que sea sostenible, debe estar enmarcada en los principios y criterios del desarrollo sostenible. Resultará oportuno realizar análisis de las dimensiones económica, social y ambiental del fenómeno de la construcción y de los aspectos que se deben tener en cuenta.

La construcción sostenible aspira a satisfacer las necesidades actuales de vivienda e infraestructuras sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades, incorpora elementos de eficiencia económica, desempeño ambiental y responsabilidad social.

La construcción sostenible implica materias tales como el diseño y gestión de las construcciones, eficiencia de los materiales, técnicas y procesos constructivos, eficiencia energética y de otros recursos, operación y mantenimiento de los activos, productos y tecnologías, monitorización a largo plazo, respeto a las normas éticas y entornos socialmente viables, participación ciudadana, seguridad y salud laboral, modelos financieros innovadores, mejora de las condiciones del entorno, interdependencias del entorno construido con las infraestructuras y el paisaje, flexibilidad en el uso, etc.

La innovación en la construcción presenta una oportunidad para incorporar materiales fabricados de manera más respetuosa con el medio ambiente, bien porque hayan consumido menos recursos, bien porque hayan generado menos emisiones, residuos o vertidos, pero también para incorporar equipos y sistemas más eficientes. Así mismo, permite la utilización de mejores técnicas constructivas capaces de conseguir

construcciones más económicas o de realizar proyectos que no eran técnica o económicamente viables hasta ahora.

No es concebible pensar en un modelo de construcción sostenible cuyo centro de atención no sean las personas, por ello, tanto la edificación como las infraestructuras están pensadas para favorecer el desarrollo y mejorar el nivel de vida de la población.

Tal como se ha comentado, para considerar una construcción sostenible, tiene que abarcar las tres dimensiones de la sostenibilidad. Sin embargo, la construcción tiene notables impactos ambientales en cuanto a consumo de recursos naturales y energía o emisiones de gases de efecto invernadero, de ahí surge la necesidad de considerar la dimensión ambiental como clave en un enfoque de construcción sostenible, aunque sin perder de vista las otras dos dimensiones.

La razón de la gran huella ecológica que deja el sector de la construcción hay que buscarla en los impactos ambientales ligados al proceso de construcción, desde la extracción de las materias primas y la fabricación de los materiales, pasando por la operación del elemento construido y finalizando con la fase de demolición; es decir, realizando un análisis del ciclo de vida de cada componente de la construcción.

### **5.3. SOSTENIBILIDAD EN EDIFICACIÓN**

En el sector de la construcción, en cuanto a sostenibilidad se refiere, la rama de edificación ha sido la que ha llevado las riendas. Es por ello, que para poder hablar de la evaluación de la sostenibilidad en obra civil, es necesario realizar un pequeño estudio del estado del arte en edificación para poner en contexto lo que se desarrollará en los próximos apartados.

La necesidad de incluir y establecer criterios de sostenibilidad en las edificaciones se ha convertido en una de las principales tendencias para el sector de la edificación.

La edificación sostenible es el proceso en que todos los actores implicados integran las consideraciones funcionales, económicas, ambientales y de calidad para producir y renovar los edificios de modo que éstos sean:

- Atractivos, durables, funcionales, accesibles, confortables y saludables para vivir en ellos y utilizarlos.
- Eficientes en relación al uso de recursos.
- Respetuosos con su entorno y vecindad, con la cultura local y el patrimonio.
- Competitivos económicamente, considerando los costes de mantenimiento, durabilidad y precios de reventa de los edificios.

Estos requisitos obedecen a los tres aspectos comentados anteriormente sobre los que se apoya la sostenibilidad: aspecto social, aspecto económico y aspecto ambiental.

El cambio de mentalidad hacia una edificación más sostenible no se ha producido de la noche a la mañana, ha habido una evolución histórica durante los últimos 30-40 años.

De este modo, ha habido una progresiva exigencia por parte de las administraciones y agentes del sector de diseñar, construir y rehabilitar edificaciones que sean cada vez más sostenibles.

En un primer momento, existían acciones específicas centradas en un único impacto ambiental. Surgieron distintos movimientos para adopción de medidas específicas en el diseño de edificaciones, como por ejemplo la bioconstrucción y la reducción del consumo energético.

En la década de los 90, comienzan a hacerse visibles los primeros sistemas de evaluación de la sostenibilidad ambiental en edificaciones, centrados principalmente en el parámetro ambiental. Estos sistemas agrupaban las distintas corrientes existentes y proponían una serie de actuaciones con el fin de buscar una sostenibilidad conjunta para todo el edificio, es decir, una reducción de los impactos ambientales de la edificación a lo largo de todo su ciclo de vida.

Para estos sistemas, la mejor manera de analizar los impactos ambientales es la realización de un Análisis de Ciclo de Vida. La edificación resultaba un sistema muy complejo como para poder evaluar el ciclo de vida en su totalidad y por ello, la mayoría de los sistemas de evaluación han partido en su base de estudios de ACV de los distintos componentes que componen el edificio.

En la actualidad, los sistemas de evaluación de la sostenibilidad de las edificaciones tienden a incluir, además de la variable medioambiental, el resto de aspectos que incluye la definición de sostenibilidad con el fin de obtener una visión de conjunto de la sostenibilidad en edificación. Aún así, existen herramientas que se especializan en un único aspecto para analizar con mayor exactitud el comportamiento de las edificaciones en ese campo.

Debido a esta evolución histórica, a lo largo de los años, se ha ido desarrollando distintas maneras o métodos para diferenciar una edificación sostenible, y posteriormente, elaborar una graduación que permita comparar dos o más edificaciones con respecto a unos mismos indicadores o evaluar la sostenibilidad de distintas soluciones constructivas.

Por todo ello se han ido creando a lo largo de los años distintos:

- Sistemas de evaluación de la sostenibilidad
- Estándares en edificación sostenible: Una serie de estándares que definen a las edificaciones sostenibles. El uso de estos estándares se basan en unos requisitos que las edificaciones han de cumplir. Permiten identificar edificaciones que cumplen ciertos requisitos de sostenibilidad, pero no los gradúa, son del tipo cumple/ no cumple.

- Herramientas (software) de evaluación: se han ido desarrollando distintas herramientas destinadas al uso por parte del proyectista como una ayuda interna práctica. La mayoría de estas herramientas están destinadas al cálculo del Análisis de Ciclo de Vida de una edificación o al comportamiento energético de un edificio, y ayudan a la toma de decisiones durante las primeras fases del desarrollo de un proyecto, así como para lograr una mejora en la evaluación realizada por alguno de los sistemas o estándares.

### 5.3.1. Marco normativo

A raíz de los distintos sistemas y estándares de evaluación de la sostenibilidad en edificación se han realizado una serie de normativas que regulan y armonizan la evaluación de la sostenibilidad. De este modo, los distintos sistemas y estándares se han actualizado para dar cumplimiento a esta normativa y todos los movimientos que surgen en la actualidad, se basan en este conjunto de normas.

Este conjunto de normas proporcionan un sistema de evaluación de la sostenibilidad en los edificios utilizando el enfoque de ciclo de vida. La evaluación de la sostenibilidad cuantifica los impactos y los aspectos para evaluar el comportamiento ambiental, social y económico de los edificios utilizando indicadores cuantitativos y cualitativos que se miden sin entrar en juicios de valor.

El objetivo de este conjunto de normas es poder comparar los resultados de las evaluaciones realizadas en distintos edificios o alternativas.

En la evaluación de la sostenibilidad se utilizan diferentes tipos de información, como pueden ser los diferentes tipos de indicadores e información sobre los escenarios y las etapas del ciclo de vida incluidas en la evaluación.

Cuando se lleva a cabo la evaluación, se determinan los escenarios y el equivalente funcional a nivel de edificio, esto implica que las principales especificaciones técnicas y funcionales se han de definir en el pliego de condiciones del cliente.

La evaluación del comportamiento técnico y funcional está fuera del alcance de este conjunto de normas, sin embargo, se deben considerar en las metodologías referidas al equivalente funcional. El equivalente funcional constituye la base para comparar los resultados de la evaluación. En la Figura 9 se puede observar cómo el equivalente funcional se debe declarar y comunicar junto con los resultados de la evaluación.

De este modo, el comportamiento integrado del edificio incorpora el comportamiento ambiental, social y económico así como el técnico y funcional, ambos grupos de comportamientos están ligados. El comportamiento técnico y funcional es una condición previa para una evaluación del comportamiento sostenible de los edificios.

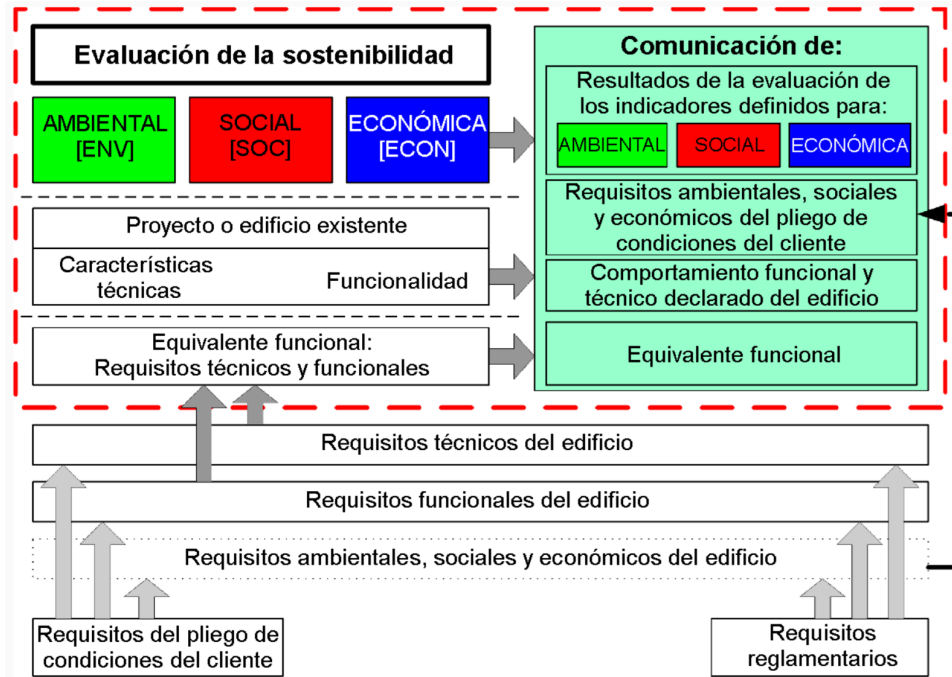


Figura 9. Evaluación y comunicación conjunta de la sostenibilidad y el equivalente funcional. Fuente: UNE-EN 15643-1 2010.

Las normas a nivel europeo se clasifican en tres tipos, y son las siguientes:

- Marcos generales:

UNE-EN 15643-1: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 1: Marco general.*

UNE-EN 15643-2: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental.*

UNE-EN 15643-3: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social.*

UNE-EN 15643-4: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico.*

- Métodos de evaluación a nivel de edificio:

UNE-EN 15978: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.*

UNE-EN 16309: *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento social de los edificios. Métodos de cálculo.*

UNE-EN 16627: *Sostenibilidad en las obras de construcción. Evaluación del comportamiento económico de los edificios. Métodos de cálculo.*

- Métodos de evaluación a nivel de producto:

UNE-EN 15804: *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de la construcción.*

UNE-EN 15942: *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Formato de comunicación negocio a negocio.*

UNE-CEN/TR 15941: *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Metodología para la selección y uso de datos genéricos.*

### 5.3.2. Sistemas de evaluación de la sostenibilidad

Los estándares, previamente mencionados, exigen unos requisitos mínimos de comportamiento, pero no establecen una jerarquía entre distintos proyectos o edificaciones que cumplen con estos requisitos. Por ello, generalmente resultan herramientas insuficientes para generar competitividad en el sector de la edificación para llegar a mayores niveles de comportamiento ambiental.

En cambio, los sistemas de evaluación aportan el factor de “mejora continua”, sobre la base de que cada vez los proyectos deberán cumplir unos requisitos y condicionantes más sostenibles que sus precedentes.

Los sistemas de evaluación suponen una manera de poder exponer de manera sencilla y visual a los usuarios finales de un edificio, las razones que lo convierten en un edificio más sostenible que otro determinado, de tal manera que resulte sencillo establecer una comparación entre los mismos.

Los métodos de evaluación ambiental han experimentado un gran auge desde que a comienzos de los 90 apareciese en escena el *BREEAM*, en Reino Unido. Habitualmente, cada país ha generado un sistema de evaluación de los edificios construidos en él, por lo que existe una gran oferta de sistemas, además, el uso de algunos de ellos ha trascendido las fronteras nacionales, como es el caso del LEED.

En este apartado se explican brevemente algunos de los sistemas más usados actualmente en ámbito nacional.



### BREEAM



*Figura 10. Logotipo de BREEAM. Fuente: [www.breeam.com](http://www.breeam.com).*

El BREEAM (Building research establishments assessment method), de origen británico, es uno de los métodos más utilizados y es considerado como el precursor de los sistemas de certificación ambiental.

Comenzó a desarrollarse en los años 90, primeramente limitándose a evaluar los aspectos energéticos, pero posteriormente fue ampliándose, y en la actualidad tiene en cuenta un amplio rango de temas ecológicos, ambientales y de salud.

Se trata de un sistema de evaluación y certificación de la sostenibilidad. La metodología consiste en que un asesor reconocido por BREEAM realiza todos los trabajos de inscripción, seguimiento y evaluación para conseguir la certificación de la sostenibilidad del edificio. El asesor es un profesional independiente que dispone de una licencia vigente. Una vez realizado el trabajo del asesor, el organismo BRE Global se encarga de certificar los edificios.

El BREEAM es un sistema de carácter voluntario, sin embargo, en algunos países es obligatorio para nuevos edificios, como ocurre en el Reino Unido.

El sistema incluye distintas categorías de evaluación como pueden ser: gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos, suelo y ecología, contaminación e innovación.

Cada categoría o “secciones” incluyen una serie requisitos y se otorgan puntos o “créditos” por el cumplimiento de éstos. Las puntuaciones son agrupadas por secciones en función de los impactos relacionados con ellos.

El número total de puntos obtenido en cada sección es multiplicado por un factor de ponderación según la importancia relativa de cada sección. A partir de estas ponderaciones se suman para obtener un resultado global.

### LEED



*Figura 11. Logotipo de LEED. Fuente: [www.usgbc.org/leed](http://www.usgbc.org/leed).*

El sistema LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es un programa de evaluación y certificación de la sostenibilidad de carácter voluntario con origen en los Estados Unidos. Inicialmente su enfoque era local, pero en la actualidad el sistema es conocido a nivel mundial.

El sistema no es único para cada tipo de edificios, sino que se define una versión específica dependiendo de su tipología. Para cada versión se crea un checklist de cumplimiento, estas versiones son realizadas por comités LEED formados por expertos de la industria de la construcción.

El sistema de puntuación funciona igual que en el caso del BREEAM, se otorgan una serie de puntos por el cumplimiento de los requisitos y se agrupan por secciones. Estas puntuaciones se ponderan y se obtiene un resultado global. En el caso del LEED la puntuación máxima puede ser de 110 puntos ya que cuenta con 10 puntos extras que hacen referencia a aspectos ambientales específicos regionales y a la implementación de innovaciones en el diseño.

El listado que LEED presenta y los créditos que son concedidos son públicos, de manera que sirven para una pre-evaluación en las etapas iniciales del proyecto, permitiendo identificar aquellas áreas en las que el proyecto tiene capacidad de mejora.

El proyecto se registra en la web de LEED, donde se recopila la información del proyecto que justifique cada requisito y se realizan los cálculos necesarios. Una vez reunida toda la documentación en la web puede empezar el proceso de revisión. Tras la revisión por parte de LEED, llega la certificación.

### VERDE



*Figura 12. Logotipo de VERDE. Fuente: [www.gbce.es](http://www.gbce.es).*

El sistema VERDE (Valoración de Eficiencia de Referencia de Edificios), es un sistema de evaluación y certificación de la sostenibilidad de origen español.

Verde calcula la reducción de impactos asociados a un número total de 42 criterios en relación a los impactos que genera un edificio de referencia a lo largo del ciclo de vida del edificio. El edificio de referencia es siempre un edificio estándar que cumple las exigencias mínimas fijadas por las normas y por la práctica común.

A cada criterio se le asocia una puntuación de referencia, estos valores son establecidos en función de la normativa vigente aplicable. La puntuación se establece de 0 a 5 siendo 0 cuando el valor de referencia corresponde al cumplimiento normativo y 5 el valor que corresponde a la mejor práctica posible con un coste aceptable.

El valor final se obtiene mediante la ponderación de los impactos reducidos en relación al edificio de referencia.

La evaluación del sistema VERDE la realiza un evaluador acreditado como paso previo a la certificación del edificio.

El sistema incluye varias categorías que son: parcela y emplazamiento, energía y atmósfera, recursos naturales, calidad del ambiente interior, calidad del servicio y aspectos sociales y económicos.

#### **5.4. SOSTENIBILIDAD EN OBRA CIVIL**

En materia de sostenibilidad, y más concretamente, en la evaluación de la sostenibilidad de un proyecto basándose en todo el ciclo de vida, el sector de edificación ha estado siempre por delante del de infraestructuras. Esta diferencia puede venir dada por la propia definición, objetivo, funcionalidades y necesidades que satisfacen una y otra tipología de construcción.

La necesidad de evaluar la sostenibilidad en edificación nace, en parte, por la etapa de uso del edificio. Con el objetivo de reducir el consumo de los edificios y que estos sean más eficientes en el uso de recursos, principalmente en energía, se empezaron a analizar sistemas constructivos que fuesen más sostenibles. Además, se extendió al análisis de los impactos generados en la etapa de uso al resto de etapas del ciclo de vida, realizando así análisis de ciclo de vida de cada materia, sistema constructivo y finalmente, del edificio entero.

En el caso de las infraestructuras u obras civiles, esa necesidad de evaluar la sostenibilidad en la etapa de uso no era tan latente. Sin embargo, la mayor preocupación en este caso era el impacto ambiental que se genera durante la etapa de ejecución. De este modo, se puede presentar el Estudio de Impacto Ambiental y la Declaración de Impacto Ambiental como un antecedente a la evaluación de la sostenibilidad, por lo menos en cuanto a la dimensión ambiental se refiere.

Este tipo de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos de infraestructuras, es el conjunto de estudios y análisis técnicos que permiten valorar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto puede causar sobre el medio ambiente. En sí, constituye un instrumento de lo más adecuado para preservar los recursos naturales y defender el medio ambiente. De este modo, se introduce una variable ambiental en la toma de decisiones que permitirá elegir, entre las diferentes alternativas posibles, la que salvaguarde mejor los intereses generales teniendo en cuenta todos los efectos derivados de la actividad proyectada.

Pese a que estos tipos de estudio son de lo más útiles y llevan realizándose desde hace tiempo, se quedan cortos frente a la definición de construcción sostenible que se defiende en este trabajo.

Los Estudios de Impacto Ambiental permiten evaluar los impactos únicamente asociados en las fases de diseño y ejecución de obra, por lo tanto, solo evalúan las primeras etapas del ciclo de vida. De este modo, no se pueden determinar situaciones en las que un determinado proyecto parece más ecológico que otro simplemente porque transfiere cargas ambientales a otras etapas del ciclo de vida.

Además de garantizar una comparabilidad entre diferentes alternativas de proyectos, este tipo de estudios añaden medidas correctoras sobre el terreno. De esta forma, estos estudios se centran en los impactos ambientales que se producen de manera local, debidos a la propia obra, y pretenden dar respuesta a ellos mediante medidas correctoras in situ. En contraposición, un estudio de la sostenibilidad de un proyecto, tiene en cuenta los mismos impactos locales, pero añade muchos más de carácter global como pueden ser los impactos asociados a la extracción de las materias primas que se usan en obra, o el transporte de los materiales usados. Estos impactos no se producirán en la propia ubicación de la obra, sino que se producirán a una escala más global.

Con este ejemplo se puede ver cómo el concepto de sostenibilidad es, por definición, un concepto dinámico en el espacio y en el tiempo.

Por todo esto, es conveniente definir nuevas maneras de evaluar la sostenibilidad en infraestructuras u obras civiles. Estas metodologías tienen que ser paralelas a las ya desarrolladas para edificación, de manera que se pueda utilizar todo lo aprendido durante los últimos años.

En cuanto materiales se refiere, los productos de construcción necesarios para realizar un edificio aunque en magnitudes distintas, son lo mismos que los utilizados en la ejecución de una infraestructura. De este modo, el concepto de Declaración Ambiental de Producto es el mismo para obra civil y estas pueden utilizarse como fuentes fiables de información para el proceso.

En obra civil, apenas existen métodos estandarizados para la evaluación de la sostenibilidad y tendrán que ser desarrollados utilizando la información brindada por las DAP y considerando los tres aspectos de la sostenibilidad: ambiental, social y económica.

#### **5.4.1. Marco normativo**

Actualmente, no existe una normativa aprobada específica para la evaluación de la sostenibilidad en obra civil. Distintos grupos de trabajo formados por ingenieros civiles internacionales están trabajando en la normalización de la evaluación de la obra civil. Estos comités son los siguientes:

- A nivel internacional: *ISO/TC59/SC17/WG5 “Sustainability in buildings and civil engineering works. Civil engineering works”*.
- A nivel europeo: *CEN/TC350/WG6 “Sustainability of construction works. Civil engineering works”*.
- A nivel nacional: *AEN/CTN198/SC2 “Sostenibilidad en la construcción. Obra Civil”*

Este trabajo se basará principalmente en los borradores y normas en desarrollo realizada por el comité CEN a nivel europeo por ser las que tienen un nivel de desarrollo mayor que el resto y una mayor compatibilidad con el marco normativo de la evaluación de la sostenibilidad en edificación.

La premisa de esta serie de normativas es que no se debe desarrollar una normativa paralela a la ya desarrollada para edificación, sino que debe ser la misma. Para ello, definen tres grandes campos normativos: marco general, nivel de obra y nivel de producto. En la Tabla 6 se puede observar el campo de trabajo de este comité y la relación con la normativa de edificación.

	EDIFICACIÓN	OBRA CIVIL
<b>MARCO GENERAL</b>	UNE-EN 15643-1: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 1: Marco general.	
	UNE-EN 15643-2: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental.	
	UNE-EN 15643-3: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social.	EN 15643-5: Framework on specific principles and requirement for civil engineering works
	UNE-EN 15643-4: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico.	
<b>NIVEL DE OBRA</b>	UNE-EN 15978: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.	
	UNE-EN 16309: Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento social de los edificios. Métodos de cálculo.	WI 00350### Assessment of environmental, economic and social performance of civil engineering works - Calculation method
	UNE-EN 16627: Sostenibilidad en las obras de construcción. Evaluación del comportamiento económico de los edificios. Métodos de cálculo.	
<b>NIVEL DE PRODUCTO</b>	UNE-EN 15804: Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de la construcción.	
	UNE-EN 15942: Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Formato de comunicación negocio a negocio.	
	UNE-CEN/TR 15941: Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Metodología para la selección y uso de datos genéricos.	

*Tabla 6. Relación entre las normativas europeas de edificación y de obra civil. Fuente: Elaboración propia.*

Tanto a nivel de marco general como de obra, se define una normativa equivalente a tres en edificación, debido a la unificación de las tres dimensiones de la sostenibilidad en una misma normativa. A nivel de producto se considera, tal como se ha comentado

anteriormente, que la normativa aplicada en edificación debe ser la misma para el caso de obra civil ya que los productos de construcción son los mismos y de esta manera, todo lo que se ha avanzado a nivel de materiales resulta útil para la evaluación de una obra civil.

En el momento de la realización de este trabajo, las normativas están en el siguiente estado:

- Referente al marco general, está pendiente de la votación formal en el comité y se estima que se publicará en el año 2018.
- Referente a nivel de obra, se está desarrollando en este momento y existen borradores siguiendo las normativas aplicadas en edificaciones, así como unas directrices para su aplicación en obra civil.

#### **5.4.2. Sistemas de evaluación de la sostenibilidad**

Tal como sucedía en el caso del sector de edificación, se han elaborado diversas estrategias en todo el mundo para calificar y establecer normas de sostenibilidad en los proyectos de infraestructura a partir de sistemas de evaluación de la sostenibilidad. Estos sistemas de evaluación y calificación ayudan a crear un marco para evaluar y mejorar la sostenibilidad de estos proyectos, además a la hora de realizar las normativas anteriormente comentadas, se tienen en cuenta.

Sin embargo, la investigación acerca de los procedimientos de evaluación de la sostenibilidad en el caso de obra civil ha tenido un desarrollo limitado si se compara con el realizado en el sector de edificación. Esto puede ser debido a la percepción social que generan un tipo de construcción u otro, además de la amplia diversidad de la naturaleza de los proyectos de obra civil, cada uno con su propia normativa de diseño y distintos métodos de construcción, dificultando así la estandarización de los métodos de evaluación.

A pesar del lento desarrollo de la investigación en este campo, han surgido algunos sistemas y estándares que están sentando las bases de la evaluación de la sostenibilidad en obra civil. A continuación se resumen algunos de estos sistemas.

#### CEEQUAL



*Figura 13. Logotipo de CEEQUAL. Fuente: [www.ceequal.com](http://www.ceequal.com).*

El sistema CEEQUAL (Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme) tiene origen en el Reino Unido y se adoptó como norma para evaluar los resultados en materia de sostenibilidad en infraestructuras en el mismo país. El sistema fue comprado por BRE Global Ltd, la misma empresa propietaria de BREEAM, en noviembre

de 2015 con el objetivo futuro de crear un mismo sistema de calificación para los sectores de edificación y de obra civil.

El sistema CEEQUAL busca evaluar la sostenibilidad de proyectos civiles en la fase de diseño y construcción a través de la medición del desempeño de los aspectos económicos, sociales y ambientales. Es un sistema que se puede aplicar en cualquier tipología de obra civil.

La metodología consiste en que un asesor formado por CEEQUAL responde una serie de preguntas y recoge información en base al manual para el certificado al que opta, este certificado es escogido por el promotor del proyecto. Una vez realizada dicha evaluación, un verificador autorizado por CEEQUAL otorga la puntuación y le otorga el certificado correspondiente.

Las categorías de un proyecto que se evalúan son las siguientes: estrategia ambiental del proyecto y del cliente, gestión ambiental del proyecto, personas y comunidades, uso del suelo y del paisaje, patrimonio histórico y cultural, ecología y biodiversidad, protección del agua, uso y gestión de los recursos físicos, transporte.

El funcionamiento es el mismo que los seguidos en los casos de edificación, a dichas categorías se les otorgan unos créditos que después se ponderan y reciben su calificación.

### Envision



*Figura 14. Logotipo de Envision. Fuente: [www.sustainableinfrastructure.org](http://www.sustainableinfrastructure.org).*

El sistema de evaluación y calificación Envision es originario de Estados Unidos y fue desarrollado por el “Institute for Sustainable Infrastructure”. Envision es un recurso para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de infraestructura civil.

El sistema Envision proporciona una guía sobre las mejores prácticas sostenibles para los usuarios y sirve como una herramienta de planificación y diseño, y además, como un medio para evaluar proyectos de infraestructura una vez completados.

Envision proporciona un marco para evaluar y calificar los beneficios comunitarios (sociales) ambientales y económicos de todas las tipologías de obra civil. Este recurso consiste en una amplia gama de criterios que ayudan a la toma de mejores decisiones en cada paso del proyecto. Estos criterios abordan los impactos de un proyecto en la comunidad circundante y el medio ambiente, las condiciones técnicas sobre materiales y procesos, y otras opciones críticas que abarcan todo el ciclo de vida del proyecto.

El sistema Envision proporciona valores en cada uno de los pasos del proceso. La metodología consiste en la utilización de 60 criterios de sostenibilidad que abordan impactos ambientales, sociales y económicos para todo el ciclo de vida de una

construcción. Estos criterios se organizan en cinco categorías: calidad de vida, liderazgo, asignación de recursos, mundo natural y clima y riesgo.

Envision permite que la infraestructura sostenible sea evaluada a fondo. Se fomentan las autoevaluaciones de los proyectos y se ofrecen verificaciones y sellos de cumplimiento a los proyectos por parte de terceros.

### Greenroads



*Figura 15. Logotipo de Greenroads. Fuente: [www.greenroads.org](http://www.greenroads.org).*

El sistema Greenroads Rating System pertenece a la Greenroads Foundation que es una organización sin ánimos de lucro, establecida en 2010 en Estados Unidos.

Greenroads mide y evalúa la sostenibilidad en proyectos de obras lineales, ya sean calles, carreteras, puentes, vías de ferrocarril, caminos, etc.

La metodología usada es parecida a la de los sistemas anteriores, se recoge un seguido de buenas prácticas en las que se otorgan créditos si se cumplen. Estos créditos están relacionados con el diseño y la construcción del proyecto. La puntuación resultante, puede usarse como un indicador del desempeño de sostenibilidad del proyecto.

El sistema tiene un mínimo de buenas prácticas que cubre aspectos ambientales, sociales y económicos para hacer un proyecto sostenible. A partir de estas, se puede realizar una verificación independiente por una tercera parte y obtener una calificación Greenroads.

El sistema de calificación tiene un total de 61 créditos. A cada práctica sostenible se le asigna un valor de acuerdo con su impacto en el ciclo de vida de un proyecto. De estos 61 créditos hay unos que son de obligado cumplimiento, todos los proyectos deben cumplirlos y no otorga puntuación; y otros voluntarios, destinados a realizar buenas prácticas para obtener mejores puntuaciones.

Los créditos obligatorios abarcan todas las partes del ciclo de vida de un proyecto y los voluntarios se separan en las siguientes categorías: medio ambiente y agua, actividades de construcción, materiales y diseño, herramientas y controles, accesibilidad y habitabilidad.

Además, incluye unos créditos adicionales que reconocen la priorización de valores locales, el número de profesionales acreditados y formados en el equipo, el rendimiento mejorado más allá de los mínimos y las nuevas ideas que no se incluyen en el propio sistema de calificación.

El total de puntos asociados en cada crédito se suman y se obtiene la calificación final.



*Otros sistemas*

Existen otras iniciativas que se encaminan a la consecución de un objetivo sostenible en cada proyecto de obra civil, así como sistemas de evaluación y calificación de la sostenibilidad. El funcionamiento de todos ellos es parecido a los explicados anteriormente.

Se puede destacar algún sistema más como el SUNRA (Sustainability - National Road Administrations), un proyecto europeo con el objetivo de impulsar un cambio y una mejora en el desempeño del desarrollo sostenible en la gestión de carreteras en Europa. En este caso, no persigue el objetivo de calificar un proyecto, ya que existen varios sistemas que se encargan de ello, sino que se basa en definir las bases para la evaluación de la sostenibilidad en carreteras en las que la administración sea propietaria, así como la creación de una herramienta de apoyo. Cabe destacar también el sistema IS (Infrastructure Sustainability) de Australian Green Infrastructure Council, muy presente en su país de origen, Australia. Este sistema tiene una metodología muy similar al caso de CEEQUAL y Greenroads.

Para finalizar este apartado se resume en la Tabla 7 una comparativa de algunos de los sistemas de evaluación de la sostenibilidad en obra civil.

	<b>CEEQUAL</b>	<b>Envision</b>	<b>Greenroads</b>
<b>Primera versión</b>	2003	2012	2011
<b>País de origen</b>	Reino Unido/ Irlanda	Estados Unidos	Estados Unidos
<b>Tipología de infraestructuras</b>	Cualquiera	Cualquiera	Obras lineales
<b>Categorías evaluadas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Project/Contract strategy</li> <li>- Project/Contract management</li> <li>- People &amp; Communities</li> <li>- Land use &amp; Landscape</li> <li>- The historic environment</li> <li>- Ecology &amp; Biodiversity</li> <li>- Water environment</li> <li>- Physical resources use &amp; management</li> <li>- Transport</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quality of life</li> <li>- Leadership</li> <li>- Resource allocation</li> <li>- Natural world</li> <li>- Climate change &amp; Risk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Project requirements</li> <li>- Environment &amp; Water</li> <li>- Construction activities</li> <li>- Materials &amp; Design</li> <li>- Utilities &amp; Controls</li> <li>- Access &amp; Livability</li> <li>- Creativity &amp; Effort</li> </ul>
<b>Número de proyectos evaluados</b>	> 300	34	70

*Tabla 7. Resumen comparativo entre los principales sistemas de evaluación de sostenibilidad en obra civil. Fuente: Elaboración propia.*

### 5.4.3. Situación en las constructoras españolas

Durante la realización de este trabajo se ha tenido la oportunidad de reunirse con varias de las grandes empresas constructoras para conocer la realidad actual en materia de evaluación de la sostenibilidad de un proyecto de obra civil. Este ejercicio se ha querido realizar dado que el marco normativo no está aún definido y los distintos sistemas de evaluación de la sostenibilidad en obra civil aún resultan un tanto desconocidos en el panorama español.

De esta serie de reuniones se puede concluir una preocupación latente en el sector sobre cómo evaluar sus proyectos desde el punto de vista de la sostenibilidad como una dimensión más a tener en cuenta en la planificación de sus proyectos.

La evaluación de la sostenibilidad de un proyecto no les preocupa únicamente en la fase de diseño, sino que coge especialmente fuerza en actividades de gestión y mantenimiento de los activos ya construidos. Esto es debido a la situación actual, en que gran parte del volumen de negocio, en ámbito nacional, reside en los servicios, mantenimiento y gestión de las concesiones que tienen dichas constructoras.

Aún así, resulta obvio que el conocimiento de todo el impacto que puede tener un proyecto a lo largo de su ciclo de vida es imprescindible para garantizar una comparabilidad entre distintas alternativas de proyecto, y más aún cuando el sector prevé que la evaluación de la sostenibilidad, juntamente con adoptar la filosofía del BIM como método de trabajo, serán dos de los aspectos que se requerirán en los procesos de licitación de obras.

Todas las constructoras con las que se ha realizado un intercambio de impresiones sobre la sostenibilidad en obra civil están de acuerdo en que en muchos casos, la dimensión sostenible en los proyectos no será del todo real hasta que no llegue a los contratos públicos que se liciten ni a contratos privados que lo requieran.

Las limitaciones que se encuentran actualmente para desarrollar estudios de evaluación de la sostenibilidad en los proyectos son, además, que no exista una normativa vigente, que los estándares que existen no cubren todos los pilares de la sostenibilidad, la mayoría solo lo hace para los parámetros ambientales o bien, no evalúan todas las fases del ciclo de vida.

Muchas de estas constructoras, utilizan los distintos sistemas de evaluación y certificación de la sostenibilidad por requisitos de sus clientes, es común que el cliente quiera conseguir en su proyecto un tipo de certificación, así que se diseñan los proyectos con el objetivo de alcanzar cierta puntuación. Algunos clientes, incluso, piden que todos los materiales usados tengan declaraciones ambientales de producto, para posteriormente realizar una declaración ambiental de toda la obra.

Centrándose sólo en una parte de la sostenibilidad ambiental, uno de los aspectos en los que parece que hay más concienciación por parte de las grandes empresas es en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), todas ellas calculan, con más o menos

dificultad, la emisiones de sus organizaciones. Realizan informes anuales sobre lo que se conoce como la “huella de carbono” que producen debido a sus actividades, donde se incluyen distintos aspectos: las instalaciones fijas, como pueden ser sus sedes, oficinas o almacenes; vehículos y maquinaria que tienen en propiedad; actividades comerciales, donde se encuentra la construcción, mantenimiento, servicios, concesiones, etc.

De este modo, aunque desde otro enfoque, están evaluando las emisiones de gases de efecto invernadero de sus proyectos, en los que, dependiendo de la metodología usada, utilizan el análisis del ciclo de vida para contabilizar las emisiones generadas durante todas las etapas de vida de ciertos materiales, sistemas constructivos u obras.

Los métodos utilizados para realizar estos cálculos, así como la estructura seguida para realizarlos e informarlos se basan en la Norma UNE-EN-ISO 14064-1:2012: *“Gases de efecto invernadero. Especificaciones con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero”* y el referencial sectorial de la ENCORD (European Network of Construction Companies for Research and Development) de la edición de mayo del 2012: *“Protocolo de medición de CO2 en construcción”*.

En conclusión, existe una preocupación en el sector de construcción de infraestructuras sobre la evaluación de la sostenibilidad debido a la falta de normativas y estándares específicos que evalúen todos los pilares de la sostenibilidad. Aún así, empiezan a surgir algunos certificados y proyectos en esa línea que denotan la corriente y línea de negocio que se va a ir instaurando en los próximos años. Es por ello, que algunas de estas constructoras, han empezado a realizar algunos proyectos para empezar a trabajar en esa línea y destacarse entre sus competidoras.

A continuación se presentan, de manera resumida, algunos de los proyectos que distintas constructoras están llevando a cabo relacionado con la evaluación de la sostenibilidad.

#### FCC - SAMCEW

FCC Construcción ha desarrollado SAMCEW (Sustainability Assessment Method for Civil Engineering Works), una metodología interna para evaluar la sostenibilidad de sus obras civiles, así como su área de influencia.

SAMCEW es un sistema de autoevaluación y calificación que puede ser utilizado por las obras como un programa interno de gestión para planificar los trabajos de construcción, identificar las mejoras y compartir los avances en las prácticas sostenibles aplicadas.

Esta metodología se puede aplicar a distintos tipos de obra civil y que estén ubicadas en distintas localizaciones.

SAMCEW está organizado en 15 categorías, cada una de ellas desarrolla una serie de temas que tienen como finalidad medir el impacto de la obra civil en las tres dimensiones de la sostenibilidad. Para cada tema se consideran una serie de conceptos que el usuario

debe evaluar respondiendo a unas preguntas. En función de las respuestas, el proyecto obtiene puntos en cada categoría.

La puntuación que obtiene cada categoría se pondera según la importancia relativa de cada una de ellas, que queda personalizada en cada proyecto en función de las respuestas obtenidas en un cuestionario inicial. Este cuestionario contempla aspectos como el tipo de obra civil evaluada, su localización, el entorno natural y social del mismo o las etapas que se deciden evaluar.

Este sistema de evaluación y calificación interna de obra civil se ha desarrollado en base al trabajo realizado en los distintos grupos de trabajo de “Sostenibilidad en obra civil” de ISO y CEN, en su Sistema de Gestión y Sostenibilidad y en métodos de evaluación de la sostenibilidad de infraestructuras existentes como los que se han contado en apartados anteriores.

### VIAS - Life HUELLAS

VIAS forma parte de un consorcio para el desarrollo de un proyecto europeo llamado Life HUELLAS. El objetivo del proyecto es desarrollar herramientas y metodologías para optimizar la toma de decisiones en proyectos de construcción ferroviaria con objeto de reducir la huella de carbono y la huella hídrica. Para tal fin, el proyecto analizará el impacto ambiental de cada etapa del proceso de construcción.

El proyecto Life HUELLAS se propone mejorar el proceso de construcción de infraestructuras ferroviarias en lo referente a su impacto ambiental, en algunos de los aspectos que afectan al cambio climático como son las huellas de carbono e hídrica u otros indicadores ambientales.

El proyecto cuenta con una primera fase de recopilación de información básica para analizar el impacto ambiental de los procesos de construcción de redes ferroviarias en base a unas variables previamente identificadas. Esta información básica proviene de unas bases de precios y de distintos proyectos ferroviarios, estableciendo una base de datos con cerca de 500 unidades de obras compuestas de materiales y maquinaria. Posteriormente se incorpora información ambiental a esta base de datos a partir de distintos estudios realizados.

A partir de estos datos se desarrolla una herramienta que, aplicando diversas técnicas de inteligencia computacional, establece diferentes alternativas de planificación de las obras en función de los costes económicos, temporales y ambientales.

En su fase final, la herramienta será probada en obras en ejecución y en obras realizadas, para testear, calibrar y realizar una guía de buenas prácticas para reducir las huellas de carbono e hídrica en la construcción de infraestructuras ferroviarias.

Se calcula que con las técnicas de Análisis de Ciclo de Vida, combinadas con el análisis inteligente de datos, pueden ayudar a reducir la huella de carbono un 10% y la huella hídrica un 5% de las obras de infraestructuras ferroviarias.

### ACCIONA - LCE4ROADS

ACCIONA forma parte de un consorcio para el desarrollo de un proyecto europeo llamado LCE4ROADS.

El objetivo general del proyecto es el de desarrollar una metodología de ecoetiquetado, que sea de manera armonizada e integrada, a partir del estudio del Análisis del Ciclo de Vida para infraestructuras viarias, así como sus materiales de construcción como mezclas asfálticas y materiales bituminosos. Esta metodología comprende las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, social y económico.

A partir de esta metodología, se pretende desarrollar una guía de etiquetado ecológico para carreteras y una herramienta de software multicriterio para la evaluación de la sostenibilidad. De este modo, este proyecto define las etiquetas ecológicas y proporciona recomendaciones para la mejora de éstas, apoyando y motivando a los agentes del sector y partes interesadas a incluir tecnologías más sostenibles en la construcción, conservación y mantenimiento de carreteras.

Para lograr estos resultados, se definirá la nueva metodología de certificación y calificación considerando los enfoques de etiquetado más relevantes, el análisis de productos para la construcción, el desarrollo de directrices y un software de apoyo. Todo esto, además, se realizará en base a las directivas y normativas que se están desarrollando desde los comités CEN para motivar futuros enfoques de certificación armonizados en la Unión Europea para las carreteras que permitan la implementación de sellos ambientales como el LCE4ROADS.

A raíz de este proyecto, y de la colaboración entre Acciona y AENOR, se propuso llevar la metodología al comité CEN para realizar un workshop agreement, de este modo se publicará próximamente parte de esta metodología bajo el siguiente nombre:

- CWA 17089:2016 Indicators for the sustainability assessment of roads

En él se definen los indicadores de sostenibilidad más convenientes y cómo aplicarlos para la evaluación en el caso de infraestructuras viarias.

Dejando a un lado el proyecto LCE4ROADS, ACCIONA ha sido la primera constructora en que ha comunicado el impacto ambiental de todo el ciclo de vida de una carretera, ha realizado una Declaración Ambiental de Producto para toda la infraestructura. Han realizado esta experiencia en dos casos:

- Tramo de carretera de la N-340 en su paso por Elche.
- Puente ferroviario sobre el Arroyo Valchano (tramo del AVE Madrid-Galicia)



---

## 6. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN OBRA CIVIL

---

### 6.1. INTRODUCCIÓN

Una vez estudiado el estado actual de las metodologías, herramientas, normativas y sistemas de evaluación de la sostenibilidad existentes en el sector de la construcción se pretende, en este apartado, realizar una primera aproximación de cómo hay que realizar una evaluación de la sostenibilidad de un proyecto de obra civil de manera estandarizada.

El objetivo que persigue este apartado es el de asentar las bases para la evaluación del comportamiento sostenible de infraestructuras, sin importar la tipología, tanto de nueva construcción como de infraestructuras existentes. Esta evaluación se basará en el análisis del ciclo de vida para todas sus etapas; en los datos obtenidos y metodología usada en las declaraciones ambientales de producto; en los módulos de información y reglas básicas para productos de la construcción definidas en la Norma UNE-EN 15804 e información complementaria que se ha tratado en apartados anteriores.

Además, en la medida de lo posible, se realizará acorde a los borradores y primeros esquemas de normativas que se desarrollan en el comité europeo de normalización CEN/TC350. Este comité técnico se encarga de la elaboración de métodos normalizados para la evaluación de la sostenibilidad en obras nuevas y existentes para la construcción de edificaciones. Dentro de este comité hay un subgrupo, el WG6, que se encarga de lo mismo para obra civil. Concretamente, los documentos a los que se recurrirá son los siguientes:

- prEN 15643-5: Framework on specific principles and requirement for civil engineering works
- WI 00350###: Assessment of environmental, economic and social performance of civil engineering works. Calculation method

El sistema de evaluación que aquí se propone comprenderá el comportamiento ambiental, social y económico con un enfoque basado en el ciclo de vida. El enfoque centrado en el ciclo de vida es necesario para estudiar los impactos reales de una infraestructura, y evitar que un proyecto parezca más sostenible que otro al transferir ciertos impactos a alguna etapa del ciclo de vida que no es evaluada. De este modo, las acciones tomadas en un

proyecto generan impactos desde la consideración de la necesidad de la infraestructura hasta más allá del desmantelamiento y deconstrucción de esta.

En general, un sistema de evaluación de la sostenibilidad en obra civil comprende dos partes metodológicas, una parte de cuantificación y análisis y otra parte de calificación, donde se otorgan valores y juicios de valor. En este caso, el sistema de evaluación propuesto sólo responderá a la parte analítica, sin realizar juicios de valor. Esto se debe a que el método debe responder a los principios de verificabilidad, transparencia y comparabilidad, así, solo considerará aspectos e impactos del comportamiento de la infraestructura sin realizar juicios de valor.

Los objetivos a los que se pretende dar respuesta con las metodologías evaluadas en base a este apartado son, entre otros, los siguientes:

- Determinar los impactos de una obra civil y su área de influencia.
- Permitir a los clientes, usuarios, proyectistas y demás agentes del sector seleccionar entre las distintas alternativas teniendo en cuenta la dimensión sostenible de sus proyectos durante la toma de decisiones.
- Ayudar a considerar la necesidad de la construcción sostenible en obra civil al mismo nivel, como mínimo, que en edificación.
- Facilitar la demostración y comunicación del comportamiento sostenible de una infraestructura.

## 6.2. ESTRUCTURA DE LA EVALUACIÓN

Antes de empezar a desarrollar las bases para la evaluación de la sostenibilidad se ha creído conveniente resumir la metodología a seguir. De esta manera se puede entender de una manera más global los pasos que se seguirán para realizar una evaluación de la sostenibilidad en el caso de obra civil. En la Figura 16 se muestra esquemáticamente este proceso.

El primer paso de toda evaluación es identificar el objeto de evaluación, definir el tipo de activo, el área de influencia, las funciones primarias y adicionales que tendrá, etc.

Para conocer la funcionalidad de la infraestructura será necesario conocer el comportamiento técnico y funcional de la obra civil. Este comportamiento vendrá dado por los requisitos de los pliegos de condiciones del cliente o en las especificaciones del proyecto en el que se determinarán las características técnicas y la funcionalidad de la infraestructura; en algunos casos, se puede incluir también el comportamiento ambiental, social y económico.

Una vez conocido el objeto de evaluación, es necesario definir el equivalente funcional, es decir, una definición del proyecto que permita realizar comparaciones de distintas alternativas referidas a un mismo equivalente funcional. Las comparaciones entre resultados siempre se deben realizar en base a su equivalente funcional.



En la definición del equivalente funcional, los requisitos técnicos y funcionales descritos en el pliego de condiciones del cliente toman cierta relevancia, ya que a partir de ellos se define el comportamiento funcional de la infraestructura.

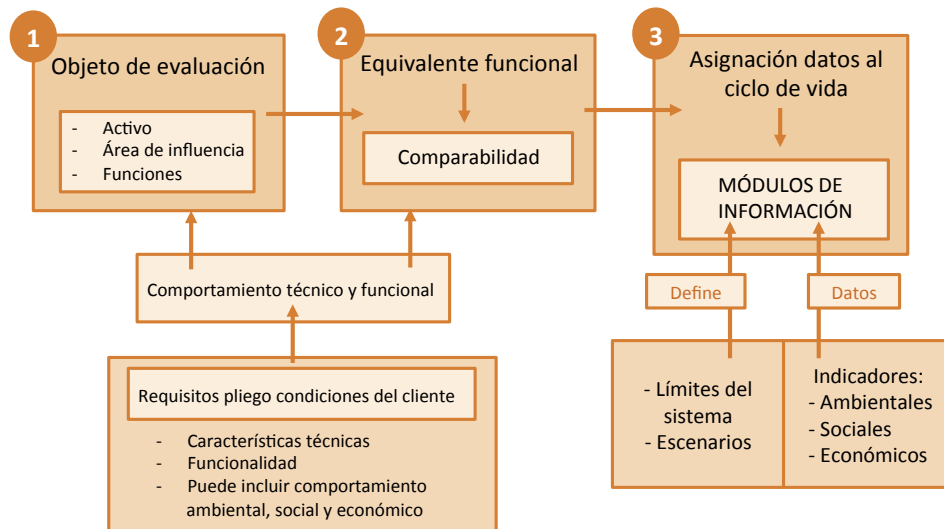


Figura 16. Esquema del procedimiento seguido para definir la evaluación de la sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocido qué es lo que se evaluará y a qué equivalente funcional irá referido, empieza la evaluación en sí de la sostenibilidad. Para ello, se tendrá que realizar una asignación de datos al ciclo de vida de la infraestructura.

Estos datos serán distintos aspectos e impactos que se producen a lo largo del ciclo de vida, y se deben informar en las correspondientes etapas en que se generan. Estas etapas del ciclo de vida, donde se informarán de todos los aspectos e impactos producidos a través de los indicadores ambientales, sociales y económicos evaluados, se conocen como módulos de información.

La definición de estos módulos de información es el punto más delicado de la evaluación, puesto que han de dejar claro qué se contabiliza en cada uno de ellos y evitar, de este modo, la doble contabilización de ciertos impactos.

Se definen los módulos de información considerándolos cada uno de ellos como un sistema. A partir de los límites del sistema se acotan estos módulos de información. Los límites del sistema se definen en términos espaciales y en términos temporales, cuando queda definido el periodo de estudio. Es por ello que los módulos de información deben ser acordes también a los escenarios planteados en cada etapa del ciclo de vida.

Una vez presentado el procedimiento de evaluación de manera global, se definirá en los siguientes apartados los distintos conceptos claves para realizar una evaluación completa de la sostenibilidad de una infraestructura.

Siguiendo el procedimiento presentado, se definirá el objeto de evaluación, cómo considerar el equivalente funcional de un proyecto, la definición de cada uno de los

módulos de información referentes las distintas etapas del ciclo de vida y finalmente los distintos indicadores ambientales, sociales y económicos que se deben evaluar en cada uno de los módulos de información presentados.

Además, en la medida que sea posible y para tratar de ser más didáctico, se ejemplifica cada uno de los temas tratados en contexto con distintas infraestructuras.

### **6.3. OBJETO DE EVALUACIÓN**

El objeto de evaluación será la infraestructura, su área de influencia, las obras externas dentro de su área de influencia, así como las obras temporales asociadas a la construcción de la infraestructura.

Dado que el área de influencia no tiene porqué estar delimitada únicamente por la propia infraestructura o por una cierta distancia hasta su área, es conveniente definirla para cada dimensión de la sostenibilidad.

Por ejemplo, el área de influencia de la construcción de un puente puede ser mayor entendiendo el beneficio social que aporta a unas determinadas poblaciones que el área donde se realizan ciertas emisiones locales debidas a procesos de la construcción.

El área de influencia será variable dependiendo de varios factores, tales como la tipología de obra, la localización, la etapa del ciclo de vida de la obra, entre otros.

En la descripción del objeto de evaluación se incluye también las funcionalidades que tendrá la infraestructura según el pliego de condiciones del cliente, además de funcionalidades adicionales que podrán ser evaluadas.

### **6.4. EQUIVALENTE FUNCIONAL**

El equivalente funcional es una representación de las características técnicas y funcionales requeridas para la obra civil. Es el medio para racionalizar las características de una infraestructura a una mínima descripción del objeto de evaluación.

En el caso que se quiera realizar una evaluación de la sostenibilidad a partir de la evaluación de sus componentes individuales, la evaluación realizada de forma desagregada de las dimensiones ambiental, social y económica deberán estar referidas en base al mismo equivalente funcional.

Las comparaciones entre los resultados de las evaluaciones de las infraestructuras, en la etapa de proyecto o cuando se usen los resultados, solo debe hacerse en base a su equivalente funcional. Por ello, los principales requisitos funcionales deben describirse junto con el uso previsto y los requisitos técnicos.

A partir de esta descripción es posible realizar una comparación transparente y razonable entre distintas opciones dada su equivalencia funcional.

Si los resultados de la evaluación se basan originalmente en equivalentes funcionales diferentes y se quieren comparar, se tiene que definir un equivalente funcional nuevo que sea común y que sirva como base de la comparación.

De este modo, en el caso de los resultados de la evaluación de infraestructuras con diferentes equivalentes funcionales (como por ejemplo el estudio de distintas tipologías de infraestructura para un mismo emplazamiento), podrán compararse basándose en una unidad de referencia común. La elección de esta unidad de referencia común para todos los proyectos que se quieran comparar dependerá de los requisitos técnicos, funcionales, e incluso ambientales, sociales o económicos, que sean comunes a todos los proyectos y que esté ligada a sus correspondientes equivalentes funcionales.

La unidad de referencia se puede obtener del equivalente funcional de cada infraestructura y usarse para presentar los resultados de los indicadores evaluados referentes al equivalente funcional. Las unidades de referencia pueden ser adimensionales, tener dimensiones o incluso ser una combinación de varias (por ejemplo, por vehículo, por m<sup>3</sup> de agua, por m<sup>2</sup>, por km de carretera para una capacidad específica y un periodo de tiempo, etc.).

A nivel de ejemplos de equivalentes funcionales se pueden tener:

- Creación de un nuevo camino entre el punto A y el punto B con una capacidad definida.
- Suplir una cantidad de energía establecida por año.
- Protección para una ciudad de inundaciones para un episodio de lluvia determinado de 100 años de periodo de retorno.
- Sistema de cimentaciones profundas para soportar una carga portante definida.

El equivalente funcional debe incluir, a modo orientativo, la información siguiente, aunque no se limita solo a esta:

- Tipología de obra civil (por ejemplo, carretera de A a B, puerto, presa)
- Requisitos técnicos y funcionales pertinentes (por ejemplo, capacidad de X número de vehículos, capacidad de N containers por año)
- Perfil de uso (por ejemplo, número de vehículos esperados por año, cantidad de containers esperados)
- Vida útil requerida.

## **6.5. ASIGNACIÓN DE DATOS AL CICLO DE VIDA**

Los impactos ambientales, económicos y sociales se asignan a las etapas, o módulos de información, en que se producen. Estos módulos de información son las distintas etapas del ciclo de vida de una infraestructura y quedan definidos a partir de los límites del

sistema. Se destina un apartado específicamente para la definición de cada etapa, en la que se estudiará qué partes de una obra civil se incluyen en cada una de las etapas.

La organización de los distintos módulos se basa en las Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) de los productos de la construcción de acuerdo a la Norma UNE-EN 15804, de modo que sea fácil aprovechar toda la información que aportan estos sistemas para la evaluación de toda una infraestructura.

Para la evaluación de la sostenibilidad en obra civil, los distintos módulos se pueden agrupar del siguiente modo:

**Módulos A0 - A5:** arrendamientos contractuales para el diseño y especificaciones, adquisición de materias primas, fabricación y obtención de productos, procesos constructivos, recepción de la obra y puesta en marcha.

**Módulos B1 - B8:** uso de la infraestructura incluyendo mantenimiento, reparación, sustitución, remodelación, operación y explotación.

**Módulos C1 - C4:** fin de vida de la infraestructura, desmantelamiento, deconstrucción, demolición, tratamiento y gestión de los residuos para reciclarlos, reutilizarlos o recuperación de recursos y energía u otras operaciones para la disposición de residuos.

**Módulo D:** potencial de reutilización, recuperación, reciclaje o recuperación de energía más allá de los límites del sistema.

En el caso que la infraestructura desempeñe funciones adicionales a las definidas en el equivalente funcional, los impactos debidos a estas funciones se informan en el módulo D. Del mismo modo que se informarán de todas las cargas y beneficios debidos al resto de módulos.

## 6.6. PERIODO DE ESTUDIO DE REFERENCIA

La evaluación de la sostenibilidad para una infraestructura debe hacerse siempre en base a su ciclo de vida. Sin embargo, puede realizarse una evaluación en la que el periodo de estudio que se escoja sea distinto al de la vida útil requerida por la obra civil. El periodo por el que se realiza la evaluación se conoce como periodo de estudio de referencia (*RSP*, *Reference Study Period*).

La evaluación se lleva a cabo sobre la base de un periodo de estudio de referencia determinado.

El valor por defecto para este periodo es la vida útil requerida de la infraestructura (*ReqSL*, *Required Service Life*). En el caso en que el periodo de estudio de referencia sea distinto de la vida útil requerida, los valores de los impactos se deben calcular para el valor por defecto y ajustarse en cada caso. En la Figura 17 se pueden ver los tres casos posibles.

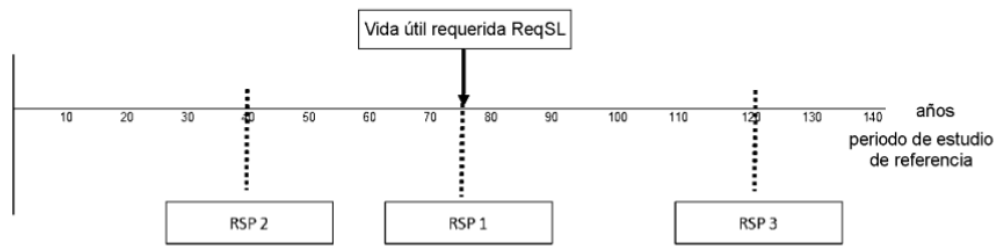


Figura 17. Periodo de estudio de referencia (RSP) frente a la vida útil requerida (ReqSL) del objeto de evaluación.  
Fuente: UNE-EN 15978 2011.

Multiplication factors		Multiplication factors	
Modules A1-A3	x1	Modules A1-A3	x1
Modules A4-A5	x1	Modules A4-A5	x1
Modules B1-B8	$x \frac{RSP}{ReqSL}$	Modules B1-B8	$x \frac{RSP}{ReqSL}$
Modules C1-C4	x1	Modules C1-C4	x1
Module D (related to A)	x1	Module D (related to A)	x1
Module D (related to B)	$x \frac{RSP}{ReqSL}$	Module D (related to B)	$x \frac{RSP}{ReqSL}$
Module D (related to C)	x1	Module D (related to C)	x1
RSP=ReqSL		RSP<ReqSL	

Figura 18. Método de ajuste de los impactos para un periodo de estudio de referencia menor que la vida útil requerida.  
Fuente: CEN/ TC350/ WG6 2016

**RSP1:** el periodo de estudio de referencia y la vida útil requerida son iguales de modo que  $RSP/ReqSL=1$  y se usa el valor por defecto.

**RSP2:** el periodo de estudio de referencia es menor que la vida útil requerida, en este caso los valores cuantificados en los impactos debidos a las etapas de uso (B1 - B8) y los beneficios y cargas del módulo D debidos a la etapa de uso se reducen usando el factor  $RSP/ReqSL$ .

**RSP3:** el periodo de estudio de referencia es mayor que la vida útil requerida, en este caso, se deben desarrollar escenarios para la rehabilitación o demolición y posible construcción de una infraestructura equivalente. Debe tenerse en cuenta el valor completo de los impactos tanto para la vida útil requerida real como la ampliación de la vida útil.

En todos los casos, los valores obtenidos de los impactos de las etapas de productos, de construcción y de fin de vida son independientes del valor del periodo de estudio de referencia. Los valores de los impactos de la etapa de uso son los que se multiplican por el

cociente  $RSP/ReqSL$ . Por lo que hace al módulo de las cargas y beneficios más allá del límite del sistema, se escalan del mismo modo dependiendo de qué etapa sean debidos estos impactos. En la Figura 18 se muestra este escalado.

## 6.7. LÍMITES DEL SISTEMA

El límite del sistema determina los procesos que se consideran para el objeto de evaluación, establece qué se debe incluir en la evaluación.

Para una infraestructura nueva, el límite del sistema incluirá todo el ciclo de vida de la obra civil. En el caso de una infraestructura existente, el límite del sistema incluirá las etapas del ciclo de vida que representan las etapas restantes, así como la etapa de fin de vida de la obra civil.

Los límites del sistema para la evaluación se deben indicar al inicio de la evaluación, en el momento en el que se establezcan los objetivos y alcance del estudio.

En este contexto, como ya se ha indicado, el objeto de evaluación es la infraestructura y su área de influencia. Esto incluye todos los procesos aguas arriba y aguas abajo del objeto necesarios para realizar y mantener las funciones de la infraestructura, incluyendo el uso por parte del usuario, desde la adquisición de las materias primas hasta su vertido, o en el punto en que los materiales se considera que salen de los límites del sistema ya sea durante o al fin del ciclo de vida de la obra civil. Además, se deben incluir los costes asociados a la adquisición del emplazamiento y de la infraestructura, así como los beneficios obtenidos asociados a las etapas de uso o fin de ciclo una vez terminado el periodo de estudio de la evaluación de la infraestructura.

El límite del sistema debe incluir un límite espacial (el área de influencia) y un límite temporal (asociado al periodo de estudio).

Tal como se ha comentado en anteriores apartados, el área de influencia es variable y depende de varios factores. Definir esta área de influencia es un paso esencial para la evaluación del comportamiento sostenible.

Por ejemplo, en un puerto, el activo es el propio puerto, sin embargo, el área de influencia relacionada con el uso de la tierra puede ser el propio puerto mientras que para definirla en relación a las emisiones de contaminantes al agua puede ser una área restringida o bien puede extenderse a una gran área en la que se incluya el consumo de combustible de los buques durante las operaciones por procesos unitarios.

El límite temporal dependerá del periodo de estudio de referencia, tal como se ha explicado en anteriores apartados.

El límite del sistema se establece siguiendo el “principio de modularidad”, es decir, cuando los procesos afectan al comportamiento ambiental, económico o social durante su ciclo de vida, se deben asignar al módulo de información (o etapa) en el ciclo de vida donde se produzca.

Por ejemplo, los impactos debidos a la sustitución de un carril de ferrocarril deteriorado en su etapa de uso, que incluirá la producción, transporte, uso de materiales auxiliares y reciclado, se asignan al módulo B3 “Sustitución”.

La organización en los distintos módulos de información según las etapas del ciclo de vida corresponde a la estructura modular de las Declaraciones Ambientales de Productos de la construcción de acuerdo con la Norma UNE-EN 15804. En los siguientes apartados se verá esta estructura modular con más detalle.

## **6.8. ESCENARIOS**

Para la evaluación es necesario establecer unos escenarios específicos que representen cada una de las etapas del ciclo de vida de una obra civil. Estos escenarios deben ser realistas y representativos acordes a los requerimientos técnicos y funcionales especificados en el pliego de condiciones del cliente, exigencias reglamentarias o especificaciones del proyecto. En caso que no existan unas especificaciones particulares, los escenarios escogidos serán los típicos para el tipo de obra civil que se esté evaluando.

Los escenarios sirven para añadir una componente temporal a la descripción física de la propia infraestructura, para ello es necesario desarrollar hipótesis que puedan aplicarse a los modelos para algunas de las etapas (como la de uso y fin de vida).

El objetivo de la definición de escenarios es el de ayudar a la cuantificación de los impactos producidos por las actividades realizadas durante todo el periodo de estudio de referencia de la obra civil. Por ello, los escenarios deben estar en concordancia con los límites del sistema definidos.

La definición de los escenarios para una obra civil queda fuera del alcance de este trabajo. Aún así, se tendrán en cuenta para la definición de los distintos módulos de información ya que los límites del sistema y los escenarios han de ser coherentes con las distintas etapas.

## **6.9. MÓDULOS DE INFORMACIÓN: ETAPAS DEL CICLO DE VIDA**

Tal como se ha visto, las distintas etapas del ciclo de vida se agrupan en módulos de información. Esta estructura modular es el mismo formato que siguen todos los estándares desarrollados por el comité técnico CEN/TC 350 para la evaluación de la sostenibilidad. Es por ello, que se seguirá aquí la misma estructura para que toda la información obtenida a partir de otras fuentes se adapten fácilmente a la misma estructura de evaluación.

En el caso de la evaluación de la sostenibilidad en obra civil, se distinguen las siguientes etapas y módulos de información:

- a) Etapa antes del uso (Módulos A0 - A5)

A0: etapa pre-construcción (estudios y trabajos preliminares).

A1 - A3: etapa de producto (extracción de material, transporte, fabricación, adquisición).

A4 - A5: etapa del proceso de construcción (incluido el transporte de los materiales desde su emplazamiento hasta el punto de recepción).

b) Etapa de uso (Módulos B1 - B8)

B1 - B5: impactos producidos como consecuencia que la infraestructura esté operativa.

B6 - B7: impactos producidos por el consumo de energía y agua operacionales necesarios para mantener la infraestructura en funcionamiento.

B8: impactos que se producen como consecuencia del uso de la infraestructura (impactos debidos a la explotación, el uso por parte del usuario).

c) Etapa de fin de vida (Módulos C1 - C4)

C1: impactos de la deconstrucción o desmantelamiento de la obra civil.

C2 - C4: impactos debidos a la gestión de residuos, incluyendo el transporte hasta el punto en que se logra el estado de fin del residuo y la disposición final.

d) Cargas y beneficios más allá de los límites del sistema (Módulo D)

Incluye cualquier impacto evitado relacionado con la inclusión de funciones adicionales no establecidas en el equivalente funcional.

Potencial de reutilización, reciclaje de material y recuperación de materiales o energía más allá de los límites del sistema.

La Figura 19 muestra la organización de los distintos módulos de información que se usan para la evaluación de la sostenibilidad en obra civil.

La definición de cada uno de los módulos de información se ha realizado a partir de los requisitos para los límites del sistema en cada etapa del ciclo de vida, así como de la definición de escenarios.

A continuación, se detalla qué se incluye y cómo se trata cada uno de los módulos de información. Todos los módulos de información cubre los impactos ambientales, económicos y sociales excepto el módulo A0, que no incluye la evaluación ambiental.



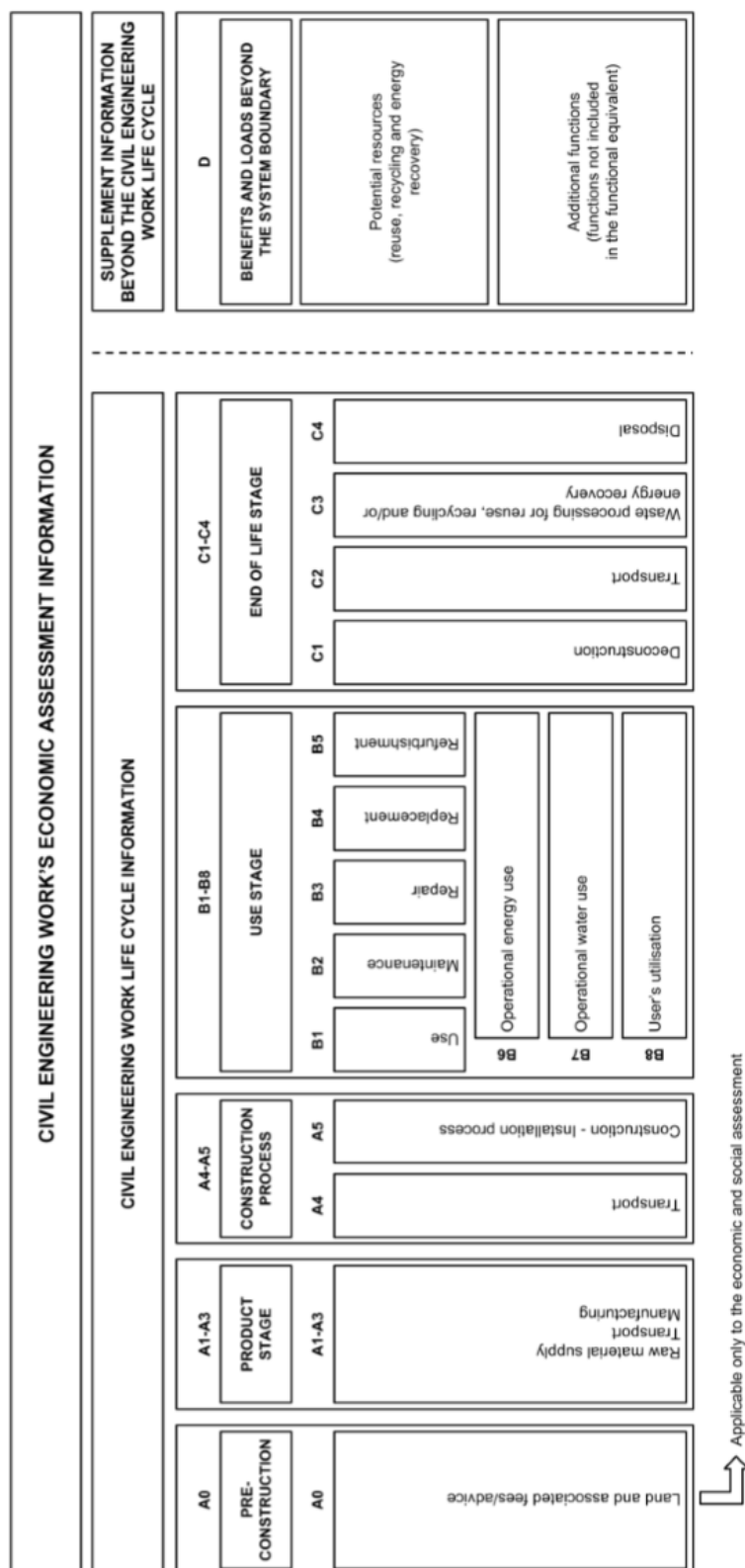


Figura 19. Módulos de información para la evaluación de la sostenibilidad en obra civil. Fuente: CEN/ TC350/ WG6 2016.

### **6.9.1. Etapa de pre-construcción (Módulo A0)**

La etapa de pre-construcción incluye todos los aspectos e impactos que se relacionan con la actividad realizada antes del inicio de las etapas del ciclo de vida.

El módulo A0 incluye, a modo orientativo, la información siguiente aunque no se limite a ella:

- Costes de planificación y de selección del emplazamiento.
- Honorarios profesionales pagados al equipo técnico para cubrir las tareas de proyecto, incluyendo la viabilidad, la planificación y el diseño.
- Costes de la tierra: impuestos relativos al emplazamiento, subvenciones o incentivos relacionados con el emplazamiento de acuerdo con las regulaciones y condiciones aplicables.

Este módulo solo se aplica para la evaluación económica y social.

### **6.9.2. Etapa de producto (Módulos A1 - A3)**

La etapa de producto cubre los procesos “de la cuna a la puerta” para los materiales y servicios utilizados en la construcción.

La definición de los límites de estos módulos así como las reglas para determinar sus impactos se definen en la Norma UNE-EN 15804.

La información ambiental de la etapa de producto se obtendrá de las declaraciones ambientales de productos usados en la construcción. En caso de no haber DAP disponibles para los productos usados, la evaluación se debe realizar acorde a la Norma UNE-EN 15804.

La etapa de producto, así como los temas más importantes de la normativa citada, se explican en el apartado correspondiente de este trabajo. (Apartado 4.2.5.).

De este modo, el sistema de evaluación que se presenta en este proyecto recoge todo el trabajo realizado a nivel de producto y sirve para nutrir de información a toda una etapa de la evaluación del ciclo de vida.

Los datos ambientales y los costes de fabricación, transporte e instalación, pueden estar disponibles sólo de forma agregada y no como costes detallados de forma individual.

### **6.9.3. Etapa del proceso de construcción (Módulos A4 - A5)**

La etapa del proceso de construcción incluye todos los procesos desde la puerta de la fábrica de los distintos materiales de construcción y sistemas técnicos integrados a la finalización de la obra de construcción.

La consideración de los impactos de la fabricación de los bienes de equipo (por ejemplo camiones, grúas) deben ser conformes con los criterios de exclusión de entradas y salidas. Es decir, en la definición de la evaluación que se está realizando se debería indicar si los

impactos producidos por los equipos se deben al consumo de energía que requieren para funcionar o si se tiene en cuenta también los producidos durante su fabricación.

#### 6.9.3.1. A4: Transporte

Este módulo debe incluir:

- Transporte de materiales y productos desde la puerta de la fábrica a la obra, incluyendo cualquier transporte, almacenamiento intermedio y distribución.
- Transporte de las personas y de los equipos de construcción (por ejemplo maquinaria, andamios) hacia y desde la obra.
- Todos los impactos relacionados a pérdidas debidas al transporte; es decir producción, transporte y gestión de residuos de los productos y materiales que se han dañado o perdido en el transporte.

En caso que el equipo de construcción se mueva con frecuencia de una obra a la siguiente, debido a la actividad del constructor, se puede considerar la distancia media. Para el transporte hacia y desde la obra de los equipos alquilados se considera la distancia real.

#### 6.9.3.2. A5: Construcción

Este módulo debe incluir:

- Obras en el terreno y mejoras del paisaje; por ejemplo, incluye la limpieza y desbroce, movimiento de tierras, jardinería, descontaminación de la tierra y otras actuaciones preliminares o de finalización.
- Almacenamiento de productos, incluyendo el suministro de calefacción, refrigeración humectación, entre otros en obra.
- Transporte de materiales, productos, residuos y equipos en la obra.
- Obras temporales, incluyendo las que estén emplazadas fuera de la obra y sean necesarias para los procesos de construcción. Por ejemplo, se incluye las obras de accesibilidad a las obras, bombas temporales para aguas subterráneas, estabilización temporal, etc.
- Producción y transformación de un producto en la obra.
- Suministro de calefacción, refrigeración, ventilación, control de humedad, etc. durante el proceso de construcción.
- Instalación de los productos en la infraestructura, incluyendo materiales auxiliares, no contabilizados en la DAP de los productos. Por ejemplo, agentes desencofrantes en los encofrados de hormigón o encofrados no aprovechables al final del proyecto, aplicación de tecnología para instalar los productos como puede ser fijaciones mecánicas o soldado. Se incluyen también el uso de energía y agua

necesario en el proceso de instalación, así como la energía requerida por los equipos en obra.

- Uso de agua para la refrigeración de la maquinaria de construcción o de la limpieza de la obra.
- Procesos de gestión de residuo de otros residuos generados en obra. Incluye todos los procesos (incluido el transporte) hasta el vertido final o hasta que se alcance el estado de fin de residuo.
- Producción, transporte y gestión de residuos de productos y materiales perdidos durante el proceso de construcción.
- Costes relacionados con la puesta en marcha y entrega.
- Honorarios profesionales relativos a los trabajadores del proyecto.
- Impuestos y otros costes relacionados con los permisos de construcción e inspección o a la aprobación de trabajos.
- Incentivos o subvenciones relacionados con la instalación.

#### **6.9.4. Etapa de uso (Módulos B1 - B8)**

La etapa de uso cubre el periodo desde la finalización de la obra de construcción hasta el punto en el tiempo en que la infraestructura empieza su etapa de fin de vida con la demolición de esta.

Esta etapa cubre la protección, conservación, regulación, control y operación del objeto de evaluación, incluyendo sus sistemas integrados.

Se excluye todos los impactos y costes de los equipos que no están relacionados con la propia infraestructura o con su uso previsto.

Los equipos que se entienden como parte de la infraestructura son aquellos productos que están fijados a la infraestructura y que su desmantelamiento empeora el comportamiento de la obra civil, el desmantelamiento o reemplazo de estos productos constituyen operaciones constructivas.

##### **6.9.4.1. B1: Uso**

Este módulo incluye todos los impactos producidos por el uso normal de la obra civil. Por ejemplo, la emisión de sustancias de los componentes de la infraestructura en condiciones normales de uso.

Costes e ingresos que resultan de la operación normal de la obra civil, independientemente del uso por parte de los usuarios. Por ejemplo, cualquier coste por impuestos, reglamentación, seguros, seguridad de la infraestructura, entre otros.

#### 6.9.4.2. B2: Mantenimiento

Este módulo debe incluir:

- Producción y transporte de los componentes auxiliares utilizados para el mantenimiento, incluyendo la producción de los materiales perdidos durante el transporte.
- Todos los procesos de limpieza del interior y exterior de la infraestructura, así como su coste.
- Todos los procesos y costes asociados para el mantenimiento del comportamiento funcional y técnico de la infraestructura, así como las cualidades estéticas.

Por ejemplo, este módulo incluye los trabajos de pintura, inspecciones anuales y mantenimiento de la maquinaria y las instalaciones.

#### 6.9.4.3. B3: Reparación

Este módulo debe incluir:

- Producción de las partes o componentes reparados y de los productos auxiliares.
- Transporte de las partes o componentes reparados y de los productos auxiliares, incluyendo la producción de los materiales perdidos durante el transporte.
- Proceso de reparación de las partes o componentes reparados y los productos auxiliares.
- Gestión de residuos de las partes o componentes eliminados y de los productos auxiliares.
- Etapa de fin de vida de las partes o componentes eliminados y de los materiales auxiliares.

#### 6.9.4.4. B4: Sustitución

Este módulo debe incluir:

- Producción de los componentes sustituidos y de los productos auxiliares.
- Transporte de los componentes sustituidos y de los productos auxiliares, incluyendo la producción de los materiales perdidos durante el transporte.
- Proceso de sustitución de los componentes sustituidos y de los productos auxiliares.
- Gestión de residuos de las partes o componentes eliminados y de los productos auxiliares.
- Etapa de fin de vida de las partes o componentes eliminados y de los materiales auxiliares.

#### 6.9.4.5. B5: Rehabilitación

Este módulo debe incluir:

- Producción de los componentes nuevos de la obra civil.
- Transporte de los componentes nuevos de la obra civil, incluyendo la producción de los materiales perdidos durante el transporte.
- Construcción como parte del proceso de rehabilitación, incluyendo la producción de los materiales perdidos durante la rehabilitación.
- Gestión de residuos del proceso de rehabilitación.
- Etapa de fin de vida de los componentes de la infraestructura sustituidos.

#### 6.9.4.6. B6: Uso de energía operacional

Este módulo incluye los impactos y los costes debidos al uso de energía por parte los sistemas técnicos integrados a la infraestructura durante su operación normal. Incluye tanto la energía consumida como la producida.

Se deberá especificar la cantidad de energía utilizada para satisfacer la demanda de la infraestructura y la cantidad exportada.

El uso de energía se contabiliza de manera separada para cada tipo de suministrador de energía (electricidad, gas, etc.).

En caso de evaluar el uso de energía por parte de equipos que no son imputables a la propia infraestructura, se deben calcular sus costes e impactos por separado.

La cuantificación de los impactos es un resultado directo de los cálculos de energía usada durante la etapa de uso en la infraestructura y se deriva de las DAP de los suministradores de energía o de bases de datos de Análisis del Ciclo de Vida.

#### 6.9.4.7. B7: Uso de agua en servicio

Este módulo cubre los impactos y costes del agua utilizada y sus tratamientos (previos y posteriores al uso) durante la operación normal de la infraestructura.

Este módulo debe incluir:

- Procesos para el agua potable, agua sanitaria, agua para calefacción, refrigeración ventilación y humectación.
- Procesos para el agua de riego de zonas ajardinadas asociadas.
- Procesos para el agua con otros usos específicos de los sistemas integrados a la infraestructura como pueden ser fuentes o estanques.

En caso de evaluar el uso de agua por parte de equipos que no son imputables a la propia infraestructura, se deben calcular sus costes e impactos por separado.

Este módulo excluye:

- El uso de agua usado durante el mantenimiento, la reparación, sustitución y la rehabilitación del equipo de suministro de agua si estos no son parte de la infraestructura. Por ejemplo, bombas de una red de distribución externa.
- El uso de energía para bombear, calentar o enfriar el agua (que se incluye en el Módulo B6).

La cuantificación de los impactos es un resultado directo de los cálculos de agua usada durante la etapa de uso en la infraestructura y se deriva de las DAP de los suministradores de agua o de bases de datos de Análisis del Ciclo de Vida.

#### 6.9.4.8. B8: Explotación - uso por parte de los usuarios

Este módulo incluye todos los impactos y costes del uso por parte de los usuarios de la infraestructura durante su operación normal y para su uso previsto.

Por ejemplo, ingresos por peajes, el tráfico de la carretera, movimiento de aviones en un aeropuerto, etc.

Se debe realizar una evaluación de la cuna a la tumba de los combustibles consumidos por los usuarios. Sin embargo, los impactos y costes de fabricación de los bienes capitales, como los coches, aviones o barcos no se incluyen en la evaluación.

Como ejemplo de un aspecto que se produce por la explotación de una carretera puede ser el consumo de combustible de los vehículos durante la etapa de uso de una carretera, que puede estar condicionado por las características superficiales del pavimento.

Otro ejemplo de impactos que se deben informar en este módulo pueden ser los producidos durante el tratamiento de aguas en una EDAR.

#### **6.9.5. Etapa de fin de vida (Módulos C1 – C4)**

La etapa de fin de vida comienza con el desmantelamiento de la infraestructura y no está previsto un uso posterior. Se considera un proceso con múltiples salidas que proporcionan una fuente de materiales, productos y elementos a eliminar, recuperar, reciclar o reutilizar. Los escenarios para estas operaciones del fin de vida para los productos y materiales determinan el límite del sistema.

Una obra civil se considera que alcanza el fin de su vida cuando:

- Todos los componentes y materiales que iban a ser retirados del emplazamiento han sido eliminados.
- El emplazamiento está listo para futuras reutilizaciones.
- La infraestructura ha sido demolida y/o abandonada.

#### 6.9.5.1. C1: Deconstrucción

Este módulo cubre las operaciones en el emplazamiento, y otras operaciones temporales fuera del emplazamiento que son necesarias, para los procesos de deconstrucción tras dejar fuera de servicio la infraestructura y que incluye la clasificación de los residuos en la obra, la deconstrucción, el desmantelamiento y/o la demolición.

#### 6.9.5.2. C2: Transporte

Este módulo incluye los costes e impactos debidos al transporte al vertedero y/o hasta que se alcance el estado de fin de residuo.

Incluye también el transporte hasta y desde los posibles emplazamientos intermedios de almacenamiento o tratamiento.

#### 6.9.5.3. C3: Tratamiento para reutilización, recuperación o reciclaje

Este módulo incluye los procesos necesarios para que las salidas de las etapas previas alcancen el estado fin de residuo.

Estos procesos pueden ser:

- La clasificación de residuos.
- Procesos preparatorios para la reutilización de los materiales.
- Procesos de reciclado.
- Procesos de recuperación de energía.

Durante el ciclo de vida de la infraestructura, todas las salidas del desmantelamiento, deconstrucción o demolición de la obra civil; de mantenimiento, reparación, sustitución o rehabilitación; todos los escombros, productos de construcción, materiales o elementos de construcción, entre otros, que salen de la obra civil, son en principio considerados residuos. Los residuos producidos en módulos concretos durante las etapas de construcción y uso, se incluyen en sus módulos correspondientes.

Se considera que se alcanza el estado fin de residuo cuando se cumple lo siguiente:

- El producto de construcción recuperado se utiliza para propósitos específicos, ya sea realizar su función o bien como entrada al proceso de construcción de otro producto o energía.
- Existe un mercado o demanda, de este producto de construcción recuperado.
- El producto de construcción recuperado cumple los requisitos técnicos para un propósito específico y cumple la legislación y normativa de producto aplicable.
- El uso del material recuperado no conlleva impactos globales negativos para el medio ambiente o la salud de las personas.



El tratamiento de los residuos debe modelizarse y los flujos elementales se deben incluir en el inventario.

Los materiales para valorización energética se deben identificar en base a una tasa de recuperación de energía establecida, si los materiales de los que se recupera energía tienen una tasa menor, no se deben considerar para valorización energética.

#### 6.9.5.4. C4: Vertido

Este módulo incluye el posible tratamiento tras el transporte a vertedero que sea necesario antes del vertido final de los materiales. Incluye, por ejemplo, neutralización, incineración con y sin aprovechamiento de energía, rellenos con o sin utilización de biogás, etc.

#### **6.9.6. Cargas y beneficios más allá de los límites del sistema (Módulo D)**

El módulo D está fuera del límite del sistema de evaluación y puede dividirse en tres partes:

Cargas y beneficios derivados de las funciones adicionales.

Beneficios y cargas derivados de los recursos potenciales para futuros usos.

Ingresos potenciales sobre el activo.

#### Funciones adicionales

Este módulo cubre las funciones adicionales de la infraestructura que no se contemplan en el equivalente funcional, porque no eran requeridas por el pliego de condiciones del cliente, que pueden producir cargas y beneficios al sistema.

Los impactos evitados debidos a la inclusión de funciones adicionales se evalúan en este módulo. Por impactos evitados se entienden las cargas y beneficios que se producen al combinar funciones y se evita de este modo la necesidad de infraestructuras adicionales. Estos impactos pueden ser positivos o negativos.

Por ejemplo, se parte del equivalente funcional definido como una carretera de dos sentidos desde A hasta B para una capacidad de 20000 vehículos diarios. Se evalúa una infraestructura la cual en la construcción de la carretera se aprovecha para incluir cables de comunicación. En este caso la función adicional es la de construir el sistema de cables de comunicación junto con la carretera requerida, de este modo se evita tener que construir dos infraestructuras separadas.

Los impactos de la construcción de la carretera y los cables de comunicación se evalúan en los módulos de A0 a C4. Los impactos evitados al construirse las dos infraestructuras juntas en vez de separadas se evalúan en el módulo D.

Otro ejemplo puede darse con el equivalente funcional de una presa que proporciona control de inundaciones para un periodo de retorno de 100 años. Se decide construir una presa que además es una planta de energía para no tener que consumir energía externa. Los impactos de la construcción de la presa y de la planta eléctrica se evalúan en los

módulos de A0 a C4. Los impactos evitados son la diferencia de los impactos debidos a la generación eléctrica de la presa frente a los impactos generados en el mix nacional de energía si se comprase energía externa.

#### Recursos potenciales

Los componentes para la reutilización y los materiales para reciclaje y valorización energética se consideran recursos potenciales para futuros usos.

Este módulo cubre los beneficios y cargas debidas a la reutilización, reciclaje y valorización energética de los flujos de productos secundarios, materiales y combustibles con valor económico o que han alcanzado el estado fin de residuo que salen del sistema.

#### Ingresos potenciales

El valor económico de la infraestructura al final del periodo de estudio de referencia se evalúa en este módulo.

Los ingresos por la reutilización de parte de la infraestructura después de su vida útil.

## **6.10. INDICADORES DEL COMPORTAMIENTO SOSTENIBLE DE UNA OBRA CIVIL**

Una vez determinados los distintos módulos de información y los procesos y productos que se incluyen en cada uno de ellos, se realiza el cálculo para cada uno de ellos.

El cálculo se realiza multiplicando cada proceso, producto o servicio cuantificado con su respectivo valor para obtener el indicador deseado. Este valor por el que se multiplica es conocido como factor de caracterización.

Los factores de caracterización sirven para hacer una conversión de unidades. A partir de las unidades obtenidas de los procesos, productos y servicios usados en una infraestructura, se obtiene un indicador numérico para cada categoría evaluada.

El procedimiento de cálculo es el mismo que se sigue en un análisis de ciclo de vida.

A continuación, se muestra los indicadores de las categorías que deberían calcularse e informarse en la evaluación de la sostenibilidad de un proyecto de obra civil.

### **6.10.1. Indicadores del comportamiento ambiental**

Los métodos de cálculo utilizados para determinar el comportamiento ambiental de un proyecto, pasan por evaluar el comportamiento de los procesos, productos y servicios utilizados en la infraestructura producidas así como los factores de caracterización.

Estos métodos de cálculo están realizados por distintas organizaciones y centros de investigación, algunos ejemplos de los más usados son CML 2002, ReCiPe, EDIP, IMPACT 2002+ entre otros. Por este motivo, no son objeto de estudio en este trabajo.

A continuación se introducen algunos de los distintos indicadores ambientales que se pueden evaluar durante el proyecto. Los indicadores que se muestran se han recogido de las distintas normativas y borradores de normativas para la evaluación de productos, edificios y obra civil que se han ido presentando durante este trabajo, además se incluyen algunas adicionales que son evaluadas en los distintos sistemas de evaluación de la sostenibilidad.

Dado que la sostenibilidad para una obra civil ha de estar acorde con las declaraciones ambientales de productos de los productos que se usan en ella, se utilizan los mismos indicadores que se presentan en las reglas básicas de categorías de producto. Estos indicadores se aplican a todas las etapas del ciclo de vida de la infraestructura y no sólo a la etapa de producto.

Además de los indicadores usados para las DAP, la naturaleza de las infraestructuras hacen que sea necesario introducir unos indicadores adicionales.

#### *Potencial de Calentamiento Global (GWP, Global Warming Potential)*

El calentamiento global se refiere a los cambios a largo plazo en los patrones climáticos globales, que son causados por el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Este indicador expresa la acumulación de gases de efecto invernadero, describe la importancia de las emisiones para los efectos de calentamiento global. Mide la contribución al calentamiento global de una unidad de gas a la atmósfera con respecto a una unidad de gas de referencia, el dióxido de carbono.

Este indicador se expresa en kg CO<sub>2</sub> equivalente.

#### *Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (ODP, Ozone Depletion Potential)*

La disminución de la capa de ozono de la estratosfera es la destrucción de esta debida a la contaminación humana. La capa de ozono es la que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta que es perjudicial para la vida.

Este indicador mide el potencial de una sustancia a destruir la capa de ozono en la atmósfera. Este proceso de destrucción se debe a la ruptura de ciertos compuestos que contienen cloro y bromo cuando llegan a la estratosfera, precipitando la ruptura catalítica de las moléculas de ozono.

Se mide el potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico de un compuesto químico respecto a la cantidad relativa de degradación que puede causar el triclorofluorometano (CFC-11).

Este indicador se expresa en kg de CFC-11 equivalente.

Potencial de formación de ozono troposférico (POPC, Photochemical Oxidation)

La formación fotoquímica de ozono ocurre cuando la luz solar reacciona con hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, para producir un tipo de contaminación del aire conocido como smog.

Este indicador se relaciona con la formación de sustancias reactivas (principalmente ozono) que se producen por la acción de la radiación solar y que son dañinas para la salud humana y los ecosistemas.

Se corresponde con la máxima cantidad de ozono formado para cada compuesto orgánico volátil, abarcando 5 días después de su liberación, en referencia al producido para la misma cantidad de etileno liberado.

Este indicador se expresa en kg de etileno equivalente.

Potencial de acidificación del suelo y agua (AP, Acidification Potential)

Los contaminantes acidificantes causan impactos negativos sobre el suelo, el agua terrestre, los organismos biológicos y los ecosistemas.

La acidificación del suelo o agua empieza cuando la capacidad de resistir o neutralizar la acidez de la atmósfera por parte de estos empieza a disminuir.

Los contaminantes acidificantes más importantes son el  $\text{SO}_x$ , el  $\text{NO}_x$  y el  $\text{NH}_x$ .

Este indicador se expresa en kg de  $\text{SO}_2$  equivalente.

Potencial de eutrofización (EP, Eutrophication potential)

La eutrofización se produce debido a los residuos, cuando el exceso de nutrientes causa un mayor crecimiento de algas en el agua, bloqueando la penetración de la luz solar necesaria bajo el agua para producir oxígeno y que origina grandes daños en la vida acuática.

La eutrofización incluye los impactos debido a los niveles excesivos de nutrientes en el ambiente con los que se dan efectos biológicos adversos.

Este indicador se expresa en kg de  $(\text{PO}_4)^{3-}$  equivalente.

Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles (ADP<sub>e</sub>, Abiotic Depletion Potential)

El agotamiento de los recursos abióticos se refiere a la disminución de la disponibilidad de recursos naturales no renovables debido a la actividad humana.

Mide el consumo de recursos no renovables con la siguiente reducción de disponibilidad para las generaciones futuras. Está relacionado con la extracción de recursos no renovables, tales como minerales y metales introducidos en el sistema

Este indicador se expresa en kg de antimonio (Sb) equivalente.

Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles (ADP<sub>f</sub>, Abiotic Depletion Potential)

El concepto es el mismo que en el caso del indicador anterior, pero en este caso está relacionado con la extracción de energía/ recursos considerando su poder calorífico inferior.

Este indicador se expresa en MJ.

Uso de energía primaria renovable

Este indicador incluye una cuantificación de la energía renovable requerida en la etapa del ciclo de vida correspondiente para desarrollar los procesos implicados.

Se entiende por energía renovable aquella procedente de fuentes no fósiles. Un recurso renovable es aquel que crece, se repone o depura de forma natural en una escala temporal humana. Un recurso renovable podría agotarse, pero puede durar indefinidamente si se administra correctamente.

Este indicador se expresa en MJ.

Uso de energía primaria no renovable

Este indicador incluye una cuantificación de la energía no renovable requerida en la etapa del ciclo de vida correspondiente para desarrollar los procesos implicados.

Se entiende por energía no renovables aquella procedente de fuentes no definidas como fuentes de energía no renovable. Un recurso no renovable es aquel que existe en una cantidad limitada y que no se repone en una escala temporal humana.

Este indicador se expresa en MJ.

Consumo de materiales primarios

Este indicador incluye la cuantificación de cada tipo de materiales utilizados para la infraestructura.

Debería declararse de manera separada la cantidad de material recuperado in situ. Por ejemplo el volumen de material excavado usado en la misma infraestructura.

Este indicador se expresa en kg o m<sup>3</sup>.

Uso de material secundario

Se considera material secundario a cualquier material recuperado de un uso previo o residual de otro sistema de producto y utilizado como entrada en otro sistema.

Este indicador incluye una cuantificación del material recuperado de un anterior uso o de los residuos que sustituyan a los materiales primarios.

Este indicador se expresa en kg.

Uso de combustibles secundarios renovables y no renovables

Un combustible secundario es aquel recuperado de un uso previo o de residuos. Este indicador cuantifica cualquier combustible que sustituye a combustibles primarios.

Este indicador se expresa en MJ.

Uso neto de agua

Este indicador incluye el agua natural en la superficie terrestre de la Tierra, en las capas de hielo, los casquetes de hielo, glaciares, icebergs, ciénagas, lagunas, lagos, ríos y arroyos, y aguas subterráneas de acuíferos y corrientes subterráneas. Se caracterizan por tener bajas concentraciones de sales disueltas y de otros sólidos totales disueltos. Se excluye específicamente el agua de mar y el agua salobre.

Este indicador se expresa en m<sup>3</sup>.

Residuos

Este indicador incluye una cuantificación de los residuos generados como elemento que el usuario desecha.

Este indicador debe declararse separadamente por tipo de residuo, es decir, no peligroso, peligroso o residuo radiactivo.

Los residuos peligrosos son aquellos que representan una amenaza sustancial o potencial para la salud o el medio ambiente. Están incluidos en la lista europea de residuos peligrosos.

Los residuos radiactivos son residuos que contienen material compuesto de elementos que emiten radiactividad. Son el subproducto de diversos procesos nucleares que tiene lugar en las centrales para obtener la energía utilizada. Los vertidos radiactivos son obtenidos de la generación de energía nuclear y otras aplicaciones de la energía nuclear, de la fisión nuclear y de la tecnología nuclear. Este tipo de residuos son peligrosos para la mayoría de las formas de vida y el medioambiente y están regulados por las agencias gubernamentales con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente.

Los residuos no peligrosos son el resto que no entran en las categorías anteriores.

Este indicador se expresa en kg de residuos producidos.

Potencial de toxicidad humana

Este indicador evalúa los efectos de las sustancias tóxicas sobre la salud humana. Estas sustancias, como metales pesados, se concentran en el aire y en el agua.

Este indicador se expresa en kg de 1,4-Diclorobenceno equivalente.

#### Formación de partículas PPM 2,5

Las materias con partículas inferior o igual a 2,5 micrómetros de diámetro representan un riesgo en la salud por inhalación de este material cuando está en la atmósfera. Existen en abundancia en las ciudades y son materias como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas y cemento entre otras.

Este indicador se expresa en kg.

#### Formación de partículas PPM 10

Indicador igual que el anterior pero con materias con partículas inferior o igual a 10 micrómetros.

Este indicador se expresa en kg.

#### Ocupación del suelo y cambio de uso del suelo

Es una información adicional que se puede incluir en la evaluación.

El cambio de uso del suelo refleja el daño ocasionado a los ecosistemas debido a los efectos de la ocupación y la transformación de la tierra. La ocupación de la tierra se define como el mantenimiento de un área en un estado particular durante un período de tiempo. La transformación es la conversión de la tierra de un estado a otro estado desde su estado original hasta un estado alterado, o entre dos estados alterados.

Es necesario conocer los m<sup>2</sup> de superficie ocupada por la infraestructura y su área de influencia para comparar, a partir de indicadores el comportamiento antes y después del cambio del uso del suelo.

De este modo se puede evaluar el decrecimiento del área natural, el efecto en la biodiversidad, la cantidad de CO<sub>2</sub> que deja de absorber la vegetación, entre otros.

Este indicador se expresa en m<sup>2</sup>.

#### Biodiversidad

Es una información adicional que se puede incluir en la evaluación. Existen distintos modos para cuantificar las pérdidas de la biodiversidad, sin embargo, no existe una metodología armonizada.

En el cálculo de la biodiversidad se puede incluir varios factores como la fragmentación ecológica del hábitat, el nivel de ruido y otras perturbaciones, permeabilidad a través de la infraestructura por parte de la fauna, entre otros.

#### **6.10.2. Indicadores del comportamiento social**

Para la evaluación del comportamiento ambiental se partía de unas normas preestablecidas a partir de las declaraciones ambientales de producto, por lo que la mayoría de indicadores expuestos están consensuados de manera generalizada por las distintas normativas que se aplican así como los sistemas de evaluación estudiados.

En el caso de la evaluación del comportamiento social no existe, en la actualidad, dicho consenso ni se determinan unos indicadores de forma armonizada.

Las normativas que aplican al sector de edificación, que se usan de base para la armonización de la evaluación en el caso de obra civil, solo contempla el comportamiento social durante la etapa de uso. La evaluación comienza con el módulo de información B1, donde se describen las funcionalidades y disposiciones del objeto de evaluación dados que estos condicionan la afectación al usuario en la etapa de uso. A lo largo de la vida en servicio, la conservación del comportamiento técnico y funcional del edificio requerirá de operaciones de mantenimiento, reparación, sustitución o incluso rehabilitación que pueden cambiar el comportamiento social durante su ejecución. Además de molestias ocasionadas como ruido y vibraciones en las etapas de uso de energía y agua.

Para el caso del sector de obra civil, se podría adaptar la misma idea, sin embargo se opta por definir el comportamiento social ampliándolo a todo el ciclo de vida de la infraestructura. Esto se debe a que la consideración de algunos aspectos sociales pueden recaer en etapas distintas a las de uso. Por ejemplo, la ubicación de una infraestructura en un emplazamiento y no otro puede generar una barrera para peatones, los efectos visuales producidos, las molestias ocasionadas durante las obras, entre otros.

El comportamiento social no se calcula específicamente, sino que, por lo general, se evalúan cualitativamente una serie de indicadores. Estos indicadores se comparan con los de referencia si existe una reglamentación o legislación, o con los de los requisitos del cliente y se informan de ellos indicando si las prestaciones son mejoradas. En caso de no existir indicadores reglamentados se informará del comportamiento observado.

En el caso de indicadores para el comportamiento social se pueden usar los que se muestran a continuación:

- Accesibilidad, como pueden ser accesos para peatones y ciclistas cuando la infraestructura suponga una barrera, accesibilidad para personas con necesidades especiales o el acceso a los suministros básicos proporcionados por la infraestructura (comparando el antes y después).
- Adaptabilidad, como la capacidad para recibir usos alternativos o complementarios.
- Salud y confort, como puede salud, protección y servicios para los trabajadores de las infraestructuras. Podría incluirse, si se justifica, parámetros de toxicidad humana si no se han evaluado como comportamiento ambiental, en cuanto a la afectación a la salud de los trabajadores.
- Accesibilidad a agua limpia, tanto de los trabajadores como de los usuarios.
- Olores, producidos por ejemplo en estaciones depuradoras de aguas residuales.
- Ruido, tanto el generado por la construcción de las infraestructuras como por los usuarios al usarla.



- Iluminación, tanto para los trabajadores como para los usuarios.
- Cargas producidas a los alrededores, como puede ser la conectividad de la red o los impactos visuales ocasionados.
- Ruido y vibraciones, como el número de personas afectadas por ruidos y vibraciones por encima de un umbral establecido.
- Seguridad, como resistencia al clima y al cambio climático, acciones accidentales como accidentes de tráfico, explosiones, comportamiento frente a incendios, terremotos entre otros.

Los sistemas de evaluación de la sostenibilidad comentados en apartados anteriores como son CEEQUAL, Envision o Greenroads, contienen categorías a evaluar que otorgan puntos para su certificación que están basadas en el comportamiento social.

Estas categorías son:

- People & Communities, The historic environment; para el caso de CEEQUAL donde incluye además afectación del patrimonio cultural.
- Quality of life, para el caso de Envision.
- Access & Equity, para el caso de Greenroads.

Durante el estudio de los distintos proyectos que llevan a cabo algunas constructoras españolas en materia de evaluación de la sostenibilidad, se ha visto que añaden también indicadores sociales del tipo (cogiendo como ejemplo el proyecto Life HUELLAS):

- Condiciones laborales, como trabajo infantil, sobreexplotación, pobreza y desempleo
- Seguridad y salud, como la siniestralidad laboral o productos tóxicos.
- Derechos humanos, como zonas en conflicto, igualdad de género o enfermedades.
- Gobernanza, como legislación o corrupción.
- Infraestructuras comunitarias, como camas de hospital, agua potable, niños no escolarizados.
- Creación de puestos de trabajo.

Estos impactos sociales se asocian a los materiales usados, su procedencia y la localidad donde se encuentra la infraestructura.

Como se ha visto en este apartado, no existe una armonización en cuanto a la definición de los indicadores para los distintos impactos sociales producidos en una infraestructura.

Es por ello que no se ha querido establecer unos indicadores claros para la evaluación del comportamiento social. En cuyo caso, se podría desarrollar un futuro estudio para identificar los indicadores sociales más acordes a la obra civil.

### 6.10.3. Indicadores del comportamiento económico

El cálculo de los costes de la infraestructura a lo largo de su ciclo de vida debe basarse en el equivalente funcional.

Se deberán informar de las hipótesis que se realicen para el cálculo de los costes durante las etapas de uso y fin de vida si se evalúan, para describir los escenarios a los que se corresponda el cálculo.

Se deberán calcular los costes de todos los procesos realizados durante cada uno de los módulos de información definidos en anteriores apartados, así como las compras de materiales, transportes, consumos, entre otros. Además se deberá incluir los ingresos producidos así como el pago de honorarios profesionales a los técnicos durante la etapa de proyecto.

Para los costes de sustitución de elementos se deberá calcular el número de reemplazos esperados cuando el periodo de estudio de referencia sea mayor a la vida útil de esos elementos.

Los costes se deben calcular inicialmente sin la aplicación de ningún descuento o aumento de tasa. De este modo se obtiene el valor nominal.

Un indicador económico oportuno a usar es el VAN (Valor Actual Neto), que es la suma de los flujos de caja futuros descontados, tanto los costes como los beneficios e ingresos. Si solo se incluyen los costes, se conoce como CAN (Coste Actual Neto).

También se puede usar el CA (Coste Anual) o VAE (Valor Anual Equivalente), es una cantidad estable anual que, cuando se distribuye totalmente a lo largo del periodo de análisis, es igual al coste neto total del proyecto teniendo en cuenta el valor temporal del dinero durante el periodo.

Para la evaluación del coste de ciclo de vida en términos de valor actual neto (VAN), se necesita especificar la tasa de descuento que se debe utilizar para el cálculo. La selección de la tasa de descuento tiene un impacto significativo sobre los resultados.

Para poder comparar resultados, el valor actual neto debe calcularse con una tasa de descuento del 3%.

---

## 7. EJEMPLO DE APLICACIÓN EN EL CASO DE UNA CARRETERA

---

### 7.1. INTRODUCCIÓN

Una vez presentadas las bases necesarias para la evaluación de la sostenibilidad en obra civil, se ha creído necesario realizar un par de ejemplos para una mejor comprensión de lo expuesto.

Se ha decidido realizar un ejemplo más teórico para explicar en el caso de una carretera, qué aspectos se deben definir y qué corresponde a cada etapa del ciclo de vida (o módulos de información).

A continuación se presentará un ejemplo reducido con cálculos para exponer los posibles resultados que se obtendrían del proceso de evaluación.

### 7.2. EJEMPLO TEÓRICO

En este apartado se realiza, de manera teórica, una aplicación de la evaluación de la sostenibilidad para el caso de una carretera.

El objetivo de este ejemplo es ayudar a la comprensión de cada uno de los aspectos introducidos en los apartados anteriores. Para ello se sigue todo el procedimiento, de manera resumida, para la definición de cada una de las etapas de una carretera a evaluar.

El ejemplo mostrado no está referido a ninguna obra concreta, pretende explicar conceptos generales que se podría encontrar en el caso de una carretera convencional, por ello, no se especificarán datos numéricos ni se pretenderá realizar un cálculo final a partir de lo anteriormente expuesto.

A continuación, se mostrarán los distintos conceptos aplicados a la carretera tipo que se define en la descripción del objeto de evaluación.

Definiciones iniciales	
Objeto de evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tramo de carretera que discurre en zonas de desmonte y terraplén</li> <li>– Se trata de una carretera de 2 carriles, para una capacidad de tráfico establecida</li> <li>– La carretera no contiene construcción de estructuras como puentes o túneles</li> <li>– Se incluye en la evaluación las obras de drenaje</li> <li>– El área de influencia para los parámetros ambientales locales se puede definir en un área física alrededor de la obra para las fases de construcción y uso. Las etapas de extracción de materias y fabricación, así como todos los transportes, abarcan unas zonas mucho más amplias. De este modo el área de influencia es dinámica.</li> <li>– El área de influencia para los parámetros sociales en las fases de construcción y uso, se puede definir a partir de las localidades adyacentes a las que dará servicio la obras, así como a los problemas que puede generar a nivel de ruidos, accesibilidad, seguridad, congestión durante su mantenimiento, entre otros.</li> </ul>
Equivalente funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Creación de nueva carretera entre punto A y B para una capacidad definida</li> <li>– Tipología: carretera de A a B</li> <li>– Requisitos técnicos y funcionales: capacidad de x números de vehículos</li> <li>– Perfil de uso: vehículos esperados por año</li> <li>– Vida útil requerida: 20 años si se refiere a los firmes</li> </ul>
Unidad funcional	<ul style="list-style-type: none"> <li>– km · año</li> </ul>
Periodo de estudio de referencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>– PER = vida útil requerida = 20 años</li> </ul>

*Tabla 8. Ejemplo de definiciones iniciales para la evaluación. Fuente: Elaboración propia.*

Uno de los aspectos más importantes es la definición de las etapas del ciclo de vida las cuáles se asignarán los datos de impactos ambientales, sociales y económicos. La importancia de esta definición recae en evitar la doble contabilización de ciertos procesos.

Se considera cada una de estas etapas como un sistema, de este modo se definen a partir de los límites del sistema.

Las etapas están definidas conforme a la normativa, en la que se dan unas indicaciones para establecer los límites del sistema. No obstante, la interpretación de la normativa, así como, la definición de cada etapa evaluada se realiza por parte del técnico que evalúa la sostenibilidad de ese proyecto.

A continuación se muestra qué fases y procesos de construcción, uso y fin de vida de una carretera se evaluarían en cada una de las etapas del ciclo de vida (o módulos de información).

Etapa de pre-construcción	
A0	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Costes de los estudios previos</li> <li>– Costes de la redacción del proyecto constructivo de la carretera</li> <li>– Costes de adquisición del terreno</li> </ul>

*Tabla 9. Ejemplo de etapa de pre-construcción. Fuente: Elaboración propia.*

Etapa de producto	
A1 Extracción de materias primas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Extracción de calizas, arcilla, etc. para la fabricación del cemento</li> <li>– Extracción en canteras del árido necesario para el hormigón, las mezclas bituminosas, la zahorra, entre otros</li> <li>– Extracción en origen del petróleo para la obtención del betún</li> <li>– Extracción de material férreo</li> <li>– Extracción de madera para encofrados</li> </ul>
A2 Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transporte desde las zonas de extracción de materiales hasta la puerta de fabricación de los productos</li> <li>– Transportes intermedios y uso de almacenes</li> </ul>
A3 Fabricación	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Procesos realizados en plantas asfálticas para la fabricación de mezclas bituminosas</li> <li>– Fabricación de elementos de hormigón prefabricado como tubos de hormigón para el drenaje</li> <li>– Procesos realizados en plantas hormigoneras</li> <li>– Fabricación de módulos auxiliares para obra como pueden ser casetas y servicios</li> <li>– Fabricación de embalajes para materiales de construcción como pueden ser plásticos, sacos, palets, entre otros</li> </ul>

*Tabla 10. Ejemplo de etapa de producto. Fuente: Elaboración propia.*

Etapa del proceso de construcción	
<b>A4</b> Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transporte de los materiales de construcción desde la fábrica hasta la obra</li> <li>– Transporte de equipos de construcción a obra, como pueden ser grúas, retroexcavadoras, palas cargadoras, andamios, entre otros.</li> <li>– Transporte del personal a la obra</li> </ul>
<b>A5</b> Construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Obras de demolición de estructuras existentes</li> <li>– Operaciones de desbroce del terreno</li> <li>– Acopio de tierra vegetal</li> <li>– Movimiento de tierras</li> <li>– Transporte interno de tierras entre desmonte y terraplenes</li> <li>– Uso de agua previo a la compactación y de limpieza general de la obra</li> <li>– Extendido y compactación de la explanada y de la zahorra</li> <li>– Extendido y compactación de las capas asfálticas</li> <li>– Extendido de tierra vegetal e hidrosiembra</li> <li>– Obras temporales como puede ser una zona para el parque de maquinaria, oficinas en la obra, caminos de acceso a la obra</li> </ul>

*Tabla 11. Ejemplo de etapa del proceso de construcción. Fuente: Elaboración propia*

Etapa de uso	
<b>B1</b> Uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Emisiones por desgaste de pintura y capa de rodadura</li> <li>– Emisiones por el desgaste superficial del firme</li> <li>– Emisiones por el desgaste de las cunetas de hormigón por el paso del agua</li> </ul>
<b>B2</b> Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Limpieza de las obras de drenaje</li> <li>– Limpieza de cunetas</li> <li>– Siegas perimetrales adyacentes a la calzada que pueden provocar incendios y pérdida de visibilidad</li> <li>– Repintado de las marcas viales</li> <li>– Operaciones de auscultación de firmes</li> <li>– Pruebas de regularidad de la capa de rodadura</li> <li>– Ensayos de deslizamiento en la capa de rodadura</li> <li>– Producción y transporte de los componentes auxiliares necesarios para realizar las operaciones de mantenimiento</li> <li>– Transporte a vertederos de los escombros producidos durante</li> </ul>

	el mantenimiento
<b>B3</b> Reparación	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reparación puntual de blandones</li> <li>– Sellado de grietas y juntas</li> <li>– Reparaciones puntuales de defectos en losas de hormigón</li> <li>– Parches puntuales</li> <li>– Reparación de baches</li> <li>– Fresados</li> <li>– Reparación de juntas de dilatación</li> <li>– Reparaciones en elementos que pueden haber sido dañados durante el uso de la carretera por accidentes o actos vandálicos como por ejemplo señalizaciones, luminarias, paneles luminosos, vallas perimetrales, barreras</li> <li>– Producción y transporte de las partes o componentes necesarios para la reparación</li> <li>– Gestión de los residuos generados durante las operaciones de reparación y transporte a vertedero</li> </ul>
<b>B4</b> Sustitución	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sustitución de elementos que no implican una rehabilitación estructural de la carretera: barreras, señales, luminarias, bombillas, paneles luminosos, entre otros.</li> <li>– Producción y transporte de los elementos para sustituir así como componentes auxiliares para las operaciones.</li> <li>– Transporte de los elementos sustituidos y gestión de los residuos</li> <li>– Etapa fin de vida de los elementos sustituidos</li> </ul>
<b>B5</b> Rehabilitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rehabilitación superficial de firmes para la regularización superficial, sonoridad del firme, entre otros. Como pueden ser lechadas bituminosas</li> <li>– Rehabilitación estructural del firme</li> <li>– Saneamiento de blandones que no se pueden arreglar con una simple reparación</li> <li>– Producción y transporte de las partes o componentes necesarias durante las operaciones de rehabilitación. En el caso de rehabilitación estructural del firme incluye todas las etapas A1-A5 como en el caso de instalación de un firme nuevo</li> <li>– Transporte, gestión y etapa fin de vida de los residuos generados durante las obras de rehabilitación</li> </ul>
<b>B6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energía necesaria para la operación de la carretera como puede ser: iluminación, señalización inteligente, estaciones</li> </ul>

Uso de energía operacional	de aforo, instalaciones de servicios de emergencia, entre otros
<b>B7</b> Uso de agua en servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Riego de zonas ajardinadas</li> </ul>
<b>B8</b> Explotación – uso por parte de los usuarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Consumo de combustible por parte de los usuarios de la carretera en la etapa de uso, este se puede estimar a partir de la capacidad de la vía</li> </ul>

*Tabla 12. Ejemplo de etapa de uso. Fuente: Elaboración propia.*

Etapa de fin de vida	
<b>C1</b> Deconstrucción	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desmonte de señales, barreras, pórticos, iluminaciones</li> <li>– Demolición de cunetas de hormigón</li> <li>– Demolición del firme asfáltico</li> <li>– Excavación de subbases, explanadas y terraplenes</li> <li>– Demolición de estructuras de hormigón</li> <li>– Clasificación y transporte interno de los residuos</li> </ul>
<b>C2</b> Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transporte a vertedero</li> <li>– Transporte a zonas de acopio para posterior uso</li> <li>– Transporte a gestoras de residuos</li> </ul>
<b>C3</b> Tratamiento para la reutilización, recuperación o reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Clasificación de los residuos</li> <li>– Recuperación de material para posterior uso en terraplén</li> <li>– Trituración y machaqueo de hormigón para usarlo como material secundario</li> <li>– Trituración y machaqueo de mezclas bituminosas</li> <li>– Recuperación de áridos para posterior uso</li> </ul>
<b>C4</b> Vertido	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tratamiento de tierras contaminadas que no sean aprovechables ni para estabilización con cal y cemento antes de realizar el vertido</li> <li>– Fundición elementos metálicos</li> </ul>

*Tabla 13. Ejemplo de etapa de fin de vida. Fuente: Elaboración propia.*



Cargas y beneficios más allá de los límites del sistema	
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Si se aprovecha la construcción de la carretera para incluir cables para un sistema de comunicación, se evalúan los impactos evitados frente a la construcción de dos infraestructuras separadas</li> <li>– Ingresos por la venta de materiales recuperados que hayan salido de los límites del sistema</li> <li>– Ingresos por el valor económico de la infraestructura después del periodo de estudio de referencia si no se ha alcanzado la vida útil de la carretera</li> </ul>

Tabla 14. Ejemplo de cargas y beneficios más allá de los límites del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos todos los procesos que se incluyen en cada etapa que se evalúa las entradas de los sistemas para proceder el cálculo de las salidas. Estas salidas se agrupan según las categorías de impacto y se informan mediante los indicadores ambientales, sociales y económicos.

En este apartado, no se realizarán dichos cálculos. Un muestra del procedimiento del cálculo de los distintos indicadores se puede observar en el siguiente apartado.

### 7.3. EJEMPLO PRÁCTICO

En este apartado se realizará un pequeño ejemplo numérico para obtener un orden de magnitud de los resultados que se podrían extraer al realizar una evaluación de la sostenibilidad en una infraestructura concreta.

A su vez, este ejemplo ha servido para la realización de pruebas diversas en las nuevas herramientas de software que se están desarrollando en el *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC)*. Es por ello que para realizar los cálculos se ha partido de la información disponible en sus bases de datos y la metodología de cálculo seguida es la que debería realizar el propio software.

De este modo, hay que tener en cuenta que la realización de este ejemplo está contextualizado con lo expuesto, y que parte de los cálculos se realizan de forma manual y otra parte se aprovecha las herramientas disponibles.

Por todo ello, es necesario exponer de forma resumida la base de datos usada, banco BEDEC, y el software usado para la muestra de resultados, TCQi-GMA, antes de entrar en detalle de los cálculos analizados.

#### 7.3.1. Banco de datos BEDEC

El banco de datos BEDEC es un conjunto de bases de datos con información de productos de la construcción que contiene información de precios, pliegos de condiciones,

características técnicas, empresas, certificaciones, imágenes de productos y datos ambientales.

BEDEC contiene los bancos de datos genéricos propios de ITeC, así como bancos de entidades y de empresas que sirven para facilitar la confección de presupuestos, pliegos de condiciones técnicas, estudios y planes de seguridad y salud, planes de control de calidad, estudios y planes de gestión de residuos y cálculos ambientales en fase de proyecto.

En estos momentos se está desarrollando el nuevo BEDEC el cual incorporará más información ambiental: nuevos indicadores ambientales e información acerca de las etapas del ciclo de vida en las cuales se produce. Además de incorporar más información, la diferencia fundamental reside en la forma de organizar la información y en la programación del banco, que dará como resultado más facilidad a la hora de ir añadiendo información y realizar modificaciones en su estructura, así como incluirá las conclusiones que se puedan obtener de proyectos de investigación como éste.

El banco de datos se estructura a partir de elementos simples de mano de obra, de materiales y de maquinaria; de elementos compuestos; de partidas, que son agrupaciones de los elementos con sus rendimientos para formarlas y de conjuntos de partidas.

En el caso que ocupa este proyecto, la información necesaria es la referida a la sostenibilidad de una infraestructura. Actualmente, la información que incorpora es la ambiental, por lo tanto se realizará el ejemplo de la evaluación solo para la dimensión ambiental de la sostenibilidad.

A nivel ambiental, el banco actual incorpora información sobre:

- Cantidad en masa y volumen de residuos generados, así como su tipología y clasificación.
- Porcentaje de materias primas y contenido de reciclado.
- Coste energético.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> producidos.

En este trabajo, no obstante, se trabaja con algunos de los indicadores que contendrá el nuevo banco, como son los siguientes:

- Coste energético de energía no renovable, separada por energía de origen fósil, radioactiva y otros.
- Coste energético de energía renovable, separada por energía de bosques certificados, hidroeléctrica y otros (como solar, térmica, geotérmica, etc.).
- Potencial de calentamiento global.
- Residuos, separados por radioactivos, peligrosos y no peligrosos.
- Uso neto de recursos de agua dulce.
- Potencial de agotamiento de recursos abióticos no fósiles.
- Porcentaje de materia prima.

- Afectación a la salud humana, separados por formación de partículas PPM 2,5, potencial de toxicidad humana tanto como efectos cancerígenos como no cancerígenos.
- Afectación del medio, separados por acidificación, eutrofización, potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico, potencial de formación de partículas PPM 10, potencial de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano y potencial de formación de ozono troposférico.

### 7.3.2. Software TCQi-GMA

Para poder gestionar todo el volumen de información aportada por los distintos bancos de datos, ITeC dispone desde hace años del programa TCQ2000.

Con este programa se puede confeccionar un gran volumen de información a partir de los datos de los distintos bancos como pueden ser mediciones, presupuestos, seguimiento económico, planificación y seguimiento de control de seguridad, confección de estudios de seguridad y salud, gestión ambiental y control de costes entre otros.

Actualmente, con el software TCQ2000 y los distintos módulos satélites, la información la aporta el presupuesto y a partir de ello se genera la información que quiera el usuario.

Esto es lo que sucede con el módulo de gestión ambiental (GMA), para poder estudiar una serie de elementos es necesario realizar un presupuesto y extraer información a partir del módulo GMA. Por lo tanto el técnico recibirá un presupuesto ya aprobado y se limitará a introducirle información ambiental, de modo que no se tendrá en cuenta en la toma de decisiones.

Actualmente, se está desarrollando el nuevo programa TCQi, que se encontrará en la nube y que permitirá unificar toda la información de los distintos módulos satélites, además de ser compatible con el nuevo banco de datos BEDEC que tendrá otra estructura de información.

Por lo que al módulo de gestión ambiental se refiere, la herramienta desarrollada es el TCQi-GMA. De este modo, con la unificación de la información, permitirá al técnico tomar decisiones a nivel ambiental y rebajar el impacto y emisiones antes o durante de la realización del propio presupuesto.

Las utilidades que tendrá el TCQi-GMA son las siguientes:

- Hacer un anexo de Gestión de Residuos conforme a las disposiciones de la Real Decreto 105/2008, Decreto Legislativo 1/2009 y 9/2008.
- Determinar la relación de las partidas de gestión de residuos con su colocación en el presupuesto según el futuro orden de áridos reciclados.
- Realizar un estudio de impacto ambiental relativo a diversos impactos y comparar la selección de partidas con más o menos impacto, en las fases de Fabricación, Construcción, Uso y Fin de vida.

- Conocer los ratios de referencia por tipología constructiva para determinar el ahorro de impacto respecto a valores de referencia.
- Conocer los principales materiales que intervienen en la obra.
- Conocer el peso de la obra a ejecutar.
- Identificar el impacto del transporte, de forma diferenciada del proceso de construcción.
- Definir la localización de los impactos ambientales.
- Conocer el consumo de energía en el uso y sus afectaciones al mantenimiento.
- Reconocer la información geométrica contenida en el archivo BIM de la obra.
- Realizar una gestión de nivel especializado de la información ambiental de las bases de datos.

### 7.3.3. Ejemplo

Para la realización de este ejemplo se ha partido de un presupuesto de una obra existente de ampliación de tercer carril. Se ha modificado dicho presupuesto por varios motivos:

- Tener el presupuesto entero con elementos genéricos del banco BEDEC.
- Simplificar la estructura y eliminar partidas muy detalladas para que sea un tipo de obra más genérica. El motivo de la simplificación también responde a una reducción de la cantidad de información a tratar, dado que se trata de un ejemplo puramente académico.
- Modificar las mediciones de la obra para tener los cálculos referidos a 1 km de carretera.

Se realizarán previamente un seguido de cálculos para posteriormente introducirlos en el software de TCQi-GMA y así poder mostrarlos en su conjunto, de este modo los cálculos realizados irán acorde con lo que la herramienta puede mostrar, dado que se encuentra en desarrollo.

Parte de estos cálculos previos que se realizan en este ejemplo los realizará el propio software una vez esté desarrollado el nuevo banco BEDEC.

#### Descripción del objeto de evaluación

El objeto a evaluar es la ampliación para un tercer carril de un tramo de carretera.

La carretera está realizada en una zona de desmonte sobre una explanada de suelo seleccionado. El firme está compuesto por la siguiente sección tipo:

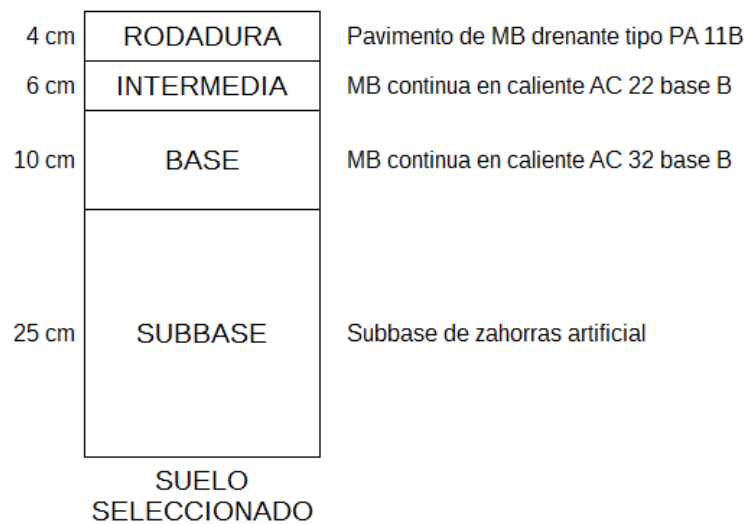


Figura 20. Sección de firme usado en la carretera del ejemplo. Fuente: Elaboración propia.

Con riego de imprimación entre la subbase y la base, y riego de adherencia entre base e intermedia y entre intermedia y rodadura.

Se evalúan los trabajos previos y demoliciones de las estructuras anteriores, el movimiento de tierras, los trabajos para la explanada y la ejecución del firme, las obras de drenaje necesarias, la señalización de las marcas viales en la carretera y las medidas correctoras de impacto ambiental.

En el anejo A se muestra el presupuesto para esta obra con todas las partidas usadas para la realización de este ejemplo.

#### Equivalente funcional/ Unidad funcional

El equivalente funcional sería la ampliación para un tercer carril en un tramo de carretera con una intensidad de tráfico dada.

La unidad funcional que se aplica para esta carretera es de 1 km.

Como se verá más adelante, no se evaluará la etapa de uso para este ejemplo por lo que la unidad funcional no requiere de una medida temporal.

#### Límites del sistema

Se evaluarán la extracción de materias primas, la fabricación de los productos de construcción y la energía consumida durante los procesos de instalación y construcción.

No se evaluará el transporte en ningún caso. Esto es debido a que no se tienen unas ubicaciones reales de los emplazamientos de donde se extraen las materias, de la fábrica ni de la obra. En caso de tener los emplazamientos, el cálculo del transporte lo realizaría el propio software una vez terminado de programarse.

Actualmente, con la información de la que se dispone, no se puede hacer una evaluación de las fases de uso ni de fin de vida.

Por todo ello, las etapas evaluadas en este ejemplo son:

- A1 - Extracción de materias primas: extracción de los áridos, petróleo, calizas, arcilla y otros materiales para la fabricación de las mezclas bituminosas, cemento, hormigón entre otros.
- A3 - Fabricación: procesos para la fabricación de las mezclas bituminosas, hormigón, entre otros.
- A5 - Construcción: energía consumida por la maquinaria durante los trabajos previos, el movimiento de tierras, la construcción del firme, las obras de drenaje, el pintado de las señalizaciones horizontales y la siembra y plantación.

### Procedimiento de cálculo

Una vez realizado el presupuesto, se tienen que separar aquellos elementos que producirán alguna emisión y se les podrá asignar un indicador.

La justificación de los elementos de todas las partidas del presupuesto se puede ver en el Anejo B, en él se muestra todos los elementos usados separados por mano de obra, material y maquinaria, además de las partidas desglosadas.

En la Tabla 15 se muestran los materiales y la maquinaria, sobre ellos se ha trabajado para añadirles información ambiental. Se muestran también el código del banco BEDEC así como la unidad de medición de cada elemento.

Materiales			Maquinaria		
Código	U.M.	Descripción	Código	U.M.	Descripción
B0111000	m3	Agua	C1101200	h	Compresor+dos martillos neumáticos
B0372000	m3	Zahorras art.	C1105A00	h	Retroexcavadora con martillo rompedor
B03D1000	m3	Tierra selec.	C1311430	h	Pala cargadora s/neumáticos 8-14t
B0552100	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego adh.C60B3/B2 ADH	C1311440	h	Pala cargadora s/neumáticos 15-20t
B0552460	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego imp.C50BF4 IMP,fluid.>3%	C13124A0	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 12-20t
B064300C	m3	Hormigón HM-20/P/20/I,>= 200kg/m3 cemento	C1313330	h	Retroexcavadora s/pneumáticos 8-10t
B07102A0	t	Mort.albañilería M10,granel,(G) UNE-EN 998-2	C1331100	h	Motoniveladora pequeña
B0A14200	kg	Alambre recocido,D=1,3mm	C1331200	h	Motoniveladora mediana
B0A31000	kg	Clavo acero	C13350C0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado,12-14t
B0D21030	m	Tablón madera pino p/10 usos	C13350E0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado,14-16t
B0DZA000	l	Desenconfante	C1502D00	h	Camión cisterna 6m3
B9H11J52	t	Mezc.bit.AC 22 base B 50/70G,árido calcáreo	C1502E00	h	Camión cisterna 8m3
B9H11K52	t	Mezc.bit.AC 32 base B 50/70G,árido calcáreo	C1503000	h	Camión grúa
B9H3P151	t	Mezc.bitu.PA11 B 50/70,árido granítico	C1702D00	h	Camión cisterna p/riego asf.
BBA16100	kg	Termoplást.caliente extrusión color blanco, p/marcas viales	C1709B00	h	Extendedora p/pavimento mezcla bitum.

BBA1M200	kg	Microesferas vidrio p/retrorref.seco+humed.+lluvia	C170D0A0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado neumático
BD75P000	m	Tubo de horm.D=120cm	C170E000	h	Barredora autopropulsada
BR34J000	kg	Bioactivador microbiano	C1B05A00	h	Máquina p/pintar banda vial extrusión,autopropulsada
BR361100	kg	Estabilizante sint.base acrílica	C200S000	h	Equipo corte oxiacetilénico
BR3A7000	kg	Abono miner.sólido fondo liberación lenta			
BR3PAN00	kg	Acolchado p/hidrosembras fibra semicorta			
BR4U1H00	kg	Mezcla p/césped tipo St.C4			

Tabla 15. Materiales y maquinaria utilizados para la realización de los cálculos. Fuente: Elaboración propia.

Un elemento simple (material o maquinaria) tiene asociada una gran cantidad de información como es el precio del elemento, las unidades de medición o información ambiental. Esta información es abierta al público y se puede consultar en la misma página web del ITeC.

Cada uno de estos elementos simples está definido a partir de unos componentes y unas relaciones internas que conforman la estructura del banco de datos BEDEC. Esta información de la estructuración del banco de datos son propiedad del *Institut de Tecnologia de la Construcció (ITeC)* y son considerados datos confidenciales.

La información ambiental, en el banco de datos, no esta asociada directamente a un elemento simple, sino que se introduce en los componentes que lo conforman. De este modo, todos los elementos simples son combinaciones de componentes que tienen asociados cierta información. Estos componentes se conocen como materiales físicos.

La siguiente fórmula ayuda a la comprensión de esto:

$$Ind_i(ES) = \alpha \cdot Ind_i(MF_1) + \beta \cdot Ind_i(MF_2) + \gamma \cdot Ind(MF_3)$$

siendo,

$Ind_i(X)$ : el indicador ambiental  $i$  para el material físico o elemento simple  $X$

$ES$ : elemento simple evaluado

$MF_j$ : material físico  $j$  que compone el elemento simple evaluado

$\alpha, \beta, \gamma$ : coeficientes de proporción para los materiales físicos que componen el elemento evaluado

De este modo, la información ambiental de un elemento simple, referida a su unidad de medición, se obtiene de la suma ponderada de los indicadores de cada uno de los materiales físicos que lo componen.

La composición de los elementos simples a partir de los materiales físicos se realiza a partir de la información interna del banco BEDEC, realizada a partir de estudios durante años y se toma en este ejemplo como datos conocidos.

Por ejemplo en el caso general del hormigón para el indicador de potencial de calentamiento global (en kg de CO<sub>2</sub> equivalentes):

$$\frac{TOTAL \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}{kg_{hormigón}} = \alpha \cdot \frac{X \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}{kg_{agua}} + \beta \cdot \frac{Y \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}{kg_{cemento}} + \gamma \cdot \frac{Z \text{ kg CO}_2 \text{ eq}}{kg_{árido}}$$

$\alpha, \beta, \gamma$  : con unidades  $kg_{agua}/kg_{hormigón}$  ,  $kg_{cemento}/kg_{hormigón}$  ,  $kg_{árido}/kg_{hormigón}$ , respectivamente.

De este modo se obtendría el indicador de potencial de calentamiento global para una unidad de medición de hormigón.

El cálculo que se ha realizado en este ejemplo ha sido justamente el que se acaba de presentar, se ha separado cada elemento simple en los materiales físicos que lo constituían y se han multiplicado estos por sus indicadores correspondientes, para terminar obteniendo el indicador ambiental por unidad de medición del elemento simple.

La obtención de los indicadores ambientales para cada uno de los materiales físicos se escapa del alcance de este trabajo. El cálculo de cada uno de estos indicadores es un procedimiento complejo y ya se han realizado trabajos de investigación para la obtención de estos anteriores a este proyecto. Sin embargo, se cree conveniente explicar la idea general de este procedimiento para entender de donde salen los datos utilizados.

La Figura 21 muestra un esquema del procedimiento que se sigue para la obtención de los indicadores.

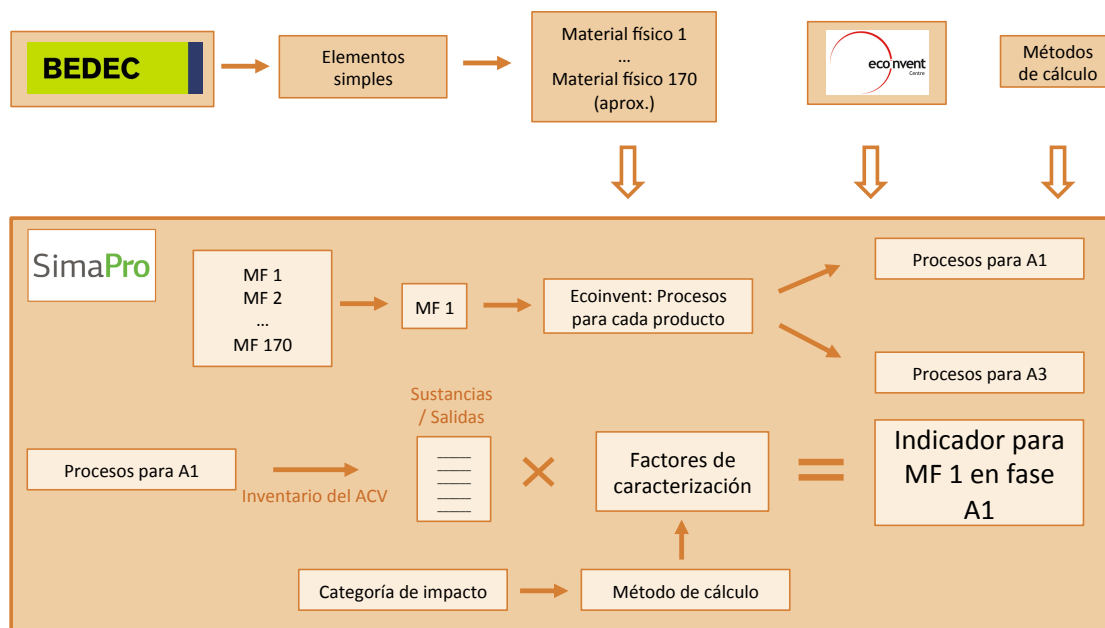


Figura 21. Esquema del procedimiento de cálculo seguido para la obtención de los indicadores. Fuente: Elaboración propia)



Una vez obtenidos los materiales físicos que conforman todos los elementos simples del banco de datos BEDEC (unos 170 aproximadamente), se introducen en el software *SimaPro*.

*SimaPro* es un programa informático que hace las funciones de “calculadora de emisiones” con los valores de los bancos de datos internacionales más reconocidos. En sí, es un motor de cálculo que hace las funciones que podría realizar *Excel* pero especializado en cálculos de emisiones de los Análisis del Ciclo de Vida a partir de varias bases de datos compatibles.

La base de datos utilizada en este caso para el software de cálculo es *Ecoinvent*, esta base de datos proporciona información de los procesos para miles de productos, lo que ayuda a la toma de decisiones en base a sus impactos ambientales. Esta base de datos contiene una gran variedad de procesos incluyendo energía, transporte, materiales de construcción, productos químicos, agricultura y gestión de residuos, entre otros.

Lo primero que se hace en el software de *SimaPro* es analizar los materiales físicos para ver que sean acordes y se redefinen, si es necesario, para que se adapten a la información proporcionada por *Ecoinvent*. Una vez definidos los materiales físicos con los que se trabajará, se obtienen para cada uno de ellos los procesos que se indican en *Ecoinvent*.

En segundo lugar, se adaptan estos procesos a las necesidades de cálculo, en este caso se separan los procesos según las fases que se quieran analizar (A1 y A3 en el esquema). Además, teniendo en cuenta que los datos proporcionados por *Ecoinvent* son genéricos y a nivel Europeo o Global, se particularizan para el ámbito nacional.

De estos procesos, se obtienen, según *Ecoinvent* también, el inventario del análisis del ciclo de vida de todas las sustancias que son salidas de los procesos evaluados.

Se deberá escoger la categoría de impacto que se quiera evaluar y el método de cálculo. Los métodos de cálculo otorgan, para cada una de las posibles sustancias, un factor de caracterización para una categoría de impacto concreta. De este modo, se usan como un factor de conversión que transforman las sustancias que son salidas de los procesos a la unidad en la que se evalúa el indicador numérico de esa categoría de impacto.

Existen varios métodos de cálculo, para cada tipo de material o sustancia y para cada categoría de impacto es mejor aplicar unos u otros y existen normativas, recomendaciones y estándares que indican cuál usar. Algunos de los métodos más usados son CML 2002, ReCiPe, EDIP, IMPACT 2002+ entre otros. En el caso del ITeC se ha usado distintos dependiendo de la categoría a evaluar, que es algo parecido a lo que se está haciendo desde la organización europea *Joint Research Center*, con el método del ILCD (*International Reference Life Cycle Data System*).

De este modo, multiplicando cada sustancia por su factor de caracterización para la categoría de impacto que se quiera obtener, se obtienen todas las sustancias en la unidad del indicador que se deseaba encontrar.

Finalmente, se realiza un sumatorio de todos los valores y se obtiene el indicador para la fase evaluada, del material físico evaluado.

Estos indicadores son los que se usan para obtener el indicador de los elementos simples que se tienen en la obra de estudio a partir de los materiales físicos que los componen.

### Resultados

A partir de la extracción de todos los materiales físicos que conforman los elementos simples del presupuesto de la carretera de evaluación, y de los indicadores para cada uno de ellos según la categoría de impacto y fases analizadas se obtiene todos los indicadores ambientales para cada uno de los elementos simples analizados.

Los resultados obtenidos se pueden ver en el Anejo C, donde se muestran en filas los distintos elementos simples analizados, y en columnas el valor del indicador para cada uno de ellos en referencia a la unidad de medición que tengan, la cual también se informa juntamente con el código de BEDEC. Se muestran los indicadores para cada categoría de impacto analizada, que corresponden a las que incluye el software TCQi-GMA.

Para el caso de los materiales se muestran las fases de extracción de materias primas (A1) y de fabricación (A3).

Para el caso de la maquinaria, el procedimiento es el mismo que para el caso de los materiales, sin embargo, se contabiliza el consumo de combustible o electricidad. Este consumo, a nivel de producto (maquinaria) se debería informar en el módulo de consumo de energía en operación (B6), lo cual significa informarlo en el módulo de construcción (A5) cuando se evalúa la infraestructura.

### Muestra de resultados

Para poder mostrar tal cantidad de datos se ha decidido usar el software TCQi-GMA.

Para ello se ha introducido parte de los resultados obtenidos, debido a la gran cantidad de información obtenida y que el procedimiento de entrada ha sido manual, se ha decidido escoger parte de la información.

Los indicadores de las categorías que se mostrarán son las siguientes:

- Uso de energía no renovable de origen fósil, en MJ.
- Uso de energía renovable de origen eólico, solar, geotérmica y otros, en MJ.
- Uso de energía renovable de origen hidráulico, en MJ.
- Potencial de calentamiento global, en kg de CO<sub>2</sub> equivalentes.
- Acidificación del medio, en kg SO<sub>2</sub> equivalentes.
- Eutrofización, en kg (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> equivalentes.
- Potencial de formación de ozono troposférico, en kg etileno equivalentes.

Se han considerado estos indicadores como más relevantes de entre los que expone la normativa UNE-EN 15804 que se deben informar y de las reglas de categoría de producto de carreteras.

Además, dado que el software está en fase de desarrollo, no se podían introducir datos con más de dos decimales, así pues los indicadores que mayoritariamente tenían emisiones del orden de 1E-3 se han desestimado por no poder mostrar información. Eso no significa que estos impactos sean despreciables, el valor tan pequeño es debido a que la información de entrada a nivel de elemento simple es referida a la unidad de medición de ese elemento, por ello, para un kg de material la emisión puede ser ínfima, pero al multiplicarse por sus mediciones se debería tener en cuenta.

El software TCQi-GMA recoge la información de partidas del presupuesto y las muestra con su información ambiental, que en este caso se ha tenido que introducir manualmente.

La entrada de esta información se ha realizado a nivel de elementos y no de partidas. Se ha introducido para cada categoría de impacto el valor producido en las fases A1 (extracción de materias primas) y fases A3 (fabricación) en el caso de materiales, y en B6 (uso de energía en operación) en el caso de maquinaria, que a nivel de partida, el propio software identifica como que se producen en A5 (Construcción).

En las siguientes tablas se muestran los datos que se introducen en el software.

Código	Uds	Materiales A1	Non renewable, fossil [MJ]	Renewable, wind, solar, geother [MJ]	Renewable, water [MJ]	Global warming (GWP100a) [kg CO <sub>2</sub> eq]	Acidification [kg SO <sub>2</sub> eq]	Eutrophication [kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq]	Photochemical oxidation [kg etileno eq]
B0111000	m3	Agua	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B0372000	m3	Zahorras art.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B03D1000	m3	Tierra selec.	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B0552100	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego adh.C60B3/B2 ADH	88,38	0,00	0,10	0,51	0,01	0,00	0,00
B0552460	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego imp.C50BF4 IMP,fluid.>3%	24,55	0,00	0,03	0,14	0,00	0,00	0,00
B064300C	m3	Hormigón HM-20/P/20/I,>=200kg/m3 cemento	595,43	3,31	18,56	168,73	0,28	0,06	0,01
B07102A0	t	Mort.albañilería M10,granel,(G) UNE-EN 998-2	595,41	3,31	18,56	168,73	0,28	0,06	0,01
B0A14200	kg	Alambre recocido,D=1,3mm	0,78	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00
B0A31000	kg	Clavo acero	0,78	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00
B0D21030	m	Tablón madera pino p/10 usos	0,54	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
B0DZA000	l	Desencofrante	62,64	0,03	0,04	0,50	0,01	0,00	0,00
B9H11J52	t	Mezc.bit.AC 22 base B 50/70G,árido calcáreo	1792,21	0,09	1,93	10,36	0,12	0,01	0,01
B9H11K52	t	Mezc.bit.AC 32 base B 50/70G,árido calcáreo	1792,21	0,09	1,93	10,36	0,12	0,01	0,01
B9H3P151	t	Mezc.bitu.PA11 B 50/70,árid.granítico	2111,37	0,10	2,28	12,20	0,14	0,02	0,01
BBA16100	kg	Termoplást.caliente extrusión color blanco, p/marcas viales	78,93	0,00	0,22	3,28	0,01	0,00	0,00

<b>BBA1M200</b>	kg	Microesferas vidrio p/retroref.seco+humed.+lluvia	1,31	0,01	0,07	0,13	0,00	0,00	0,00
<b>BD75P000</b>	m	Tubo de horm.D=120cm	259,95	1,06	22,50	58,55	0,11	0,03	0,01
<b>BR34J000</b>	kg	Bioactivador microbiano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BR361100</b>	kg	Estabilizante sint.base acrílica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BR3A7000</b>	kg	Abono miner.sólido fondo liberación lenta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BR3PAN00</b>	kg	Acolchado p/hidrosembras fibra semicorta	17,50	0,03	0,31	1,15	0,00	0,00	0,00
<b>BR4U1H00</b>	kg	Mezcla p/césped tipo St.C4	0,14	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00

Tabla 16. Resultados de los indicadores para los materiales usados en A1. Fuente: Elaboración propia.

Código	Uds	Materiales A3	Non renewable, fossil [MJ]	Renewable, wind, solar, geother [MJ]	Renewable, water [MJ]	Global warming (GWP100a) [kg CO <sub>2</sub> eq]	Acidification [kg SO <sub>2</sub> eq]	Eutrophication [kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq]	Photochemical oxidation [kg etileno eq]
<b>B0111000</b>	m3	Agua	3,10	0,13	0,31	0,27	0,00	0,00	0,00
<b>B0372000</b>	m3	Zahorras art.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>B03D1000</b>	m3	Tierra selec.	70,81	6,06	3,65	5,44	0,04	0,01	0,00
<b>B0552100</b>	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego adh.C60B3/B2 ADH	1,24	0,00	0,01	0,11	0,00	0,00	0,00
<b>B0552460</b>	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego imp.C50BF4 IMP,fluid.>3%	0,35	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
<b>B064300C</b>	m3	Hormigón HM-20/P/20/I, >= 200kg/m3 cemento	116,60	13,91	8,28	9,09	0,07	0,01	0,00
<b>B07102A0</b>	t	Mort.albañilería M10,granel,(G) UNE-EN 998-2	62,20	9,28	5,46	4,91	0,04	0,01	0,00
<b>B0A14200</b>	kg	Alambre recocido,D=1,3mm	4,27	0,39	0,28	0,28	0,00	0,00	0,00
<b>B0A31000</b>	kg	Clavo acero	4,14	0,39	0,28	0,28	0,00	0,00	0,00
<b>B0D21030</b>	m	Tablón madera pino p/10 usos	1,34	0,01	0,01	0,10	0,00	0,00	0,00
<b>B0DZA000</b>	l	Desenconfante	2,02	0,24	0,15	0,14	0,00	0,00	0,00
<b>B9H11J52</b>	t	Mezc.bit.AC 22 base B 50/70G,árido calcáreo	64,14	3,35	2,13	5,28	0,02	0,00	0,00
<b>B9H11K52</b>	t	Mezc.bit.AC 32 base B 50/70G,árido calcáreo	64,14	3,35	2,13	5,28	0,02	0,00	0,00
<b>B9H3P151</b>	t	Mezc.bitu.PA11 B 50/70,árid.granítico	68,35	3,33	2,14	5,67	0,02	0,00	0,00
<b>BBA16100</b>	kg	Termoplást.caliente extrusión color blanco, p/marcas viales	6,11	0,87	0,51	0,41	0,00	0,00	0,00
<b>BBA1M200</b>	kg	Microesferas vidrio p/retroref.seco+humed.+lluvia	10,38	0,10	0,09	0,83	0,01	0,00	0,00
<b>BD75P000</b>	m	Tubo de horm.D=120cm	73,15	2,08	3,36	5,29	0,03	0,01	0,00
<b>BR34J000</b>	kg	Bioactivador microbiano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BR361100</b>	kg	Estabilizante sint.base acrílica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BR3A7000</b>	kg	Abono miner.sólido fondo liberación lenta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>BR3PAN00</b>	kg	Acolchado p/hidrosembras fibra semicorta	91,14	9,13	5,75	7,07	0,06	0,02	0,00
<b>BR4U1H00</b>	kg	Mezcla p/césped tipo St.C4	0,36	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00

Tabla 17. Resultados de los indicadores para los materiales usados en A3. Fuente: Elaboración propia.

Código	Uds	Combustibles A5	Non renewable, fossil [MJ]	Renewable, wind, solar, geothermal [MJ]	Renewable, water [MJ]	Global warming (GWP100a) [kg CO <sub>2</sub> eq]	Acidification [kg SO <sub>2</sub> eq]	Eutrophication [k (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq]	Photochemical oxidation [kg etileno eq]
C1101200	h	Compresor+dos martillos neumáticos	78,11	0,04	0,05	4,98	0,04	0,01	0,00
C1105A00	h	Retroexcavadora con martillo rompedor	610,24	0,29	0,42	38,91	0,30	0,07	0,01
C1311430	h	Pala cargadora s/neumáticos 8-14t	903,15	0,43	0,62	57,58	0,45	0,10	0,01
C1311440	h	Pala cargadora s/pneumàtics 15-20t	1472,70	0,70	1,02	93,89	0,74	0,16	0,02
C13124A0	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 12-20t	756,69	0,36	0,52	48,24	0,38	0,08	0,01
C1313330	h	Retroexcavadora s/pneumàtics 8-10t	577,69	0,28	0,40	36,83	0,29	0,06	0,01
C1331100	h	Motoniveladora pequeña	756,69	0,36	0,52	48,24	0,38	0,08	0,01
C1331200	h	Motoniveladora mediana	1212,33	0,58	0,84	77,29	0,61	0,13	0,01
C13350C0	h	Rodillo vibratorio autopulsado,12-14t	902,80	0,43	0,62	57,56	0,45	0,10	0,01
C13350E0	h	Rodillo vibratorio autopulsado,14-16t	878,74	0,42	0,61	56,02	0,44	0,10	0,01
C1502D00	h	Camión cisterna 6m3	964,98	0,46	0,67	61,52	0,48	0,11	0,01
C1502E00	h	Camión cisterna 8m3	1098,42	0,53	0,76	70,03	0,55	0,12	0,01
C1503000	h	Camión grúa	1627,29	0,78	1,13	103,75	0,81	0,18	0,02
C1702D00	h	Camión cisterna p/riego asf.	358,00	0,17	0,25	22,82	0,18	0,04	0,00
C1709B00	h	Extendidora p/pavimento mezcla bitum.	1415,74	0,68	0,98	90,26	0,71	0,16	0,02
C170D0A0	h	Rodillo vibratorio autopulsado neumático	870,60	0,42	0,60	55,51	0,43	0,10	0,01
C170E000	h	Barredora autopulsada	83,81	0,04	0,06	5,34	0,04	0,01	0,00
CR713300	h	Hidrosebradora montada s/camión,2500l,bomba 15-20kW	439,37	0,21	0,30	28,01	0,22	0,05	0,01

Tabla 18. Resultados de los indicadores para los combustibles usados en A5. Fuente: Elaboración propia.

Código	Uds	Uso eléctrico A5	Non renewable, fossil [MJ]	Renewable, wind, solar, geothermal [MJ]	Renewable, water [MJ]	Global warming (GWP100a) [kg CO <sub>2</sub> eq]	Acidification [kg SO <sub>2</sub> eq]	Eutrophication [k (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq]	Photochemical oxidation [kg etileno eq]
C1B05A00	h	Máquina p/pintar banda vial extrusión,autopulsada	245,13	64,87	32,96	20,66	0,17	0,02	0,01
C200S000	h	Equipo corte oxiacetilénico	146,13	38,67	19,65	12,32	0,10	0,01	0,00

Tabla 19. Resultados de los indicadores para el uso eléctrico en A5. Fuente: Elaboración propia.

Los datos mostrados se introducen para cada elemento simple, estos están referidos a la unidad de medición de cada uno de ellos. A nivel de partida de obra, la información que mostrará el software será referenciada a la unidad de medición de esa partida, por lo tanto,

esos indicadores introducidos se verán multiplicados por la proporción de cada elemento simple que tenga una partida.

Finalmente, a nivel de capítulo del presupuesto, se suman los indicadores de todas las partidas que contienen y se multiplican por sus mediciones. A nivel de obra, simplemente se suma todos los capítulos.

A continuación se muestran distintas tablas con resultados y gráficos obtenidos del software TCQi-GMA.

	Extracción de Materias Primas	Fabrica	Construcción. Instalación
AMPLIACIÓN TERCER CARRIL - Energía NR de origen fósil (MJ)	9470748.21870852	407847.8079064	529802.53891505
AMPLIACIÓN TERCER CARRIL - Energía R otros (solar, eólica...) (MJ)	671.03498048	24649.78389852	9438.6912484
AMPLIACIÓN TERCER CARRIL - Energía R hidroeléctrica (MJ)	12118.25907256	15567.97788292	5017.5282637
AMPLIACIÓN TERCER CARRIL - Potencial de calentamiento global (kg)	71937.80798368	32971.4548754	34490.5424145
AMPLIACIÓN TERCER CARRIL - Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua (kg)	790.30116728	87.63915928	272.0614898
AMPLIACIÓN TERCER CARRIL - Potencial de eutrofización (kg)	53.50538656	15.44936776	56.97414425
AMPLIACIÓN TERCER CARRIL - Potencial de formación de ozono troposférico (kg)	39.62976776	0	7.0670317

*Tabla 20. Tabla con los indicadores obtenidos para toda la obra. Fuente: TCQi-GMA*

La primera tabla mostrada, la Tabla 20, muestra el valor total para cada indicador de toda la obra y separados por las fases en que se producen. Se recuerda que se han usado mediciones para obtener los resultados para 1km de carretera.

Las tres primeras filas hacen referencia al consumo de energía, la separación entre las distintas tipologías se realiza de manera interna a partir del mix eléctrico calculado por ITeC.

Se observa que el mayor consumo de energía, como era de esperar, es debido a la energía de origen no fósil. Además, el mayor consumo de energía se produce durante la extracción de materias primas. Es por ello que para el caso evaluado, se podría tener en consideración el uso de otros tipos de materiales que tuvieran un consumo de extracción menor, como podría ser sustituir parte del árido utilizado por árido reciclado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en este ejemplo no se ha analizado el transporte, que podría ser una variable de decisión importante. Se podría reducir el consumo de la extracción comprando materiales con un impacto menor pero que están a más distancia de la obra o fábrica y perjudicar así al impacto debido al transporte.

El resto de indicadores evaluados siguen, en mayor o menor medida, lo explicado.

La obtención de estos datos permite al técnico conocer el impacto ambiental la obra, y de este modo unirse a la toma de decisiones en la fase de proyecto. El objetivo de estos datos no es sólo el de evaluar la infraestructura, sino ser la primera fase de un planeamiento teniendo en cuenta los criterios ambientales.

A partir de estos datos, el técnico puede intentar mejorar estos impactos a partir del uso de otros materiales u otros procedimientos. De este modo, se conseguirá un mejor comportamiento ambiental de la obra.

Esta mejora no será tan solo para esa infraestructura concreta, sino que el mismo software guardará los elementos usados para que sea más fácil incluirlos en obras futuras de la misma tipología. De este modo se genera una mejora continua.

Además, los datos usados del banco BEDEC son datos genéricos, y los impactos que producen están calculados de modo que queden por encima de lo esperado utilizando productos reales. Esto es debido a que se intenta crear una necesidad de mercado de informar de las emisiones de cada uno de los productos de la construcción así como de sus procesos, si los fabricantes y constructoras realizan estas evaluaciones para sus productos, el técnico puede escogerlos para su proyecto mejorando así la calidad ambiental de sus obras.

Además, con los datos obtenidos, si se realizara la evaluación de todas las etapas del ciclo de vida, se comprobaría que una reducción de los impactos ambientales va ligada a una reducción del uso de energía, lo que tendrá un coste a la larga beneficioso para constructora, administración, concesionaria u otros.

Para poder realizar la toma de decisiones, los resultados no se obtienen solo a nivel de toda la obra, si no que se pueden evaluar a nivel de capítulos, partidas de obra, incluso a nivel de justificación de las partidas.

Como muestra de esta información se ha decidido adjuntar imágenes de los gráficos y tablas obtenidas para la obra desglosada por capítulos con el objetivo de ver que capítulo genera mayor impacto para cada uno de los indicadores.

Dado que la representación de los indicadores en los gráficos usan la misma escala vertical, se ha decidido realizar cada uno de los gráficos para solo un indicador. De lo contrario, dada la diferencia de órdenes de magnitud de cada indicador, solo se verían un par de ellos y los demás no se apreciarían. De este modo se cree que el ejemplo será más ilustrativo.

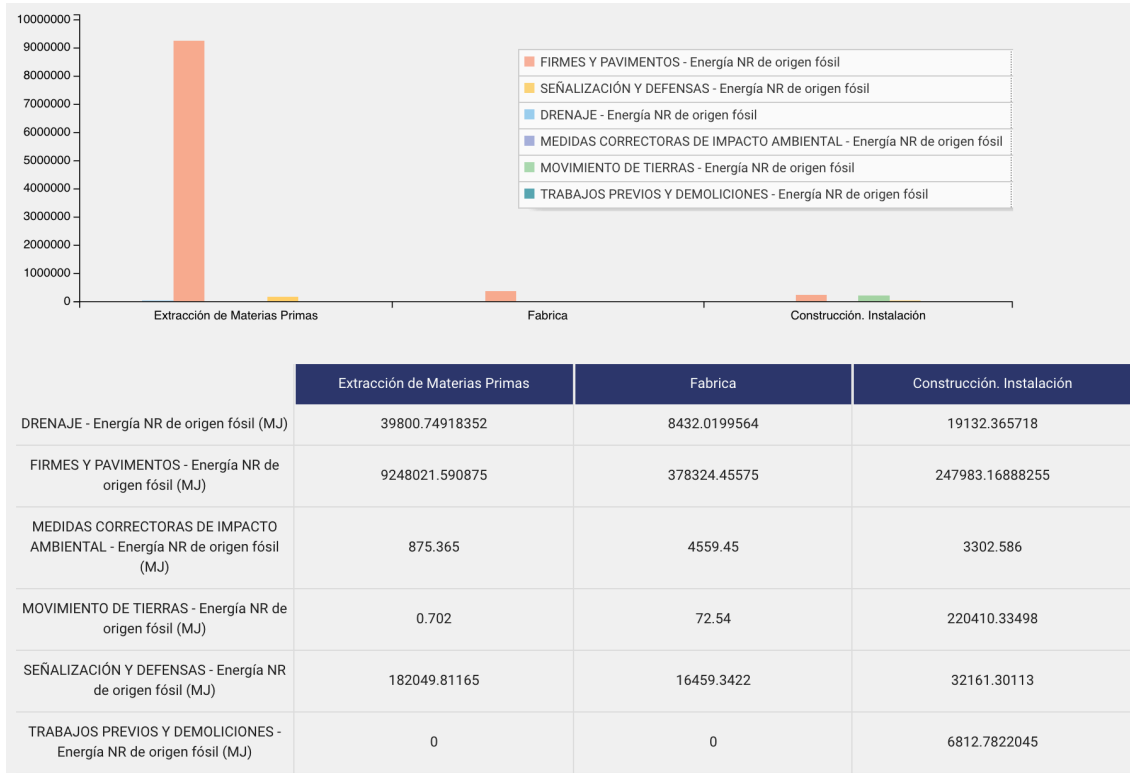


Figura 22. Impactos según capítulos de obra del indicador de energía no renovable de origen fósil (en MJ). Fuente: TCQi-GMA.

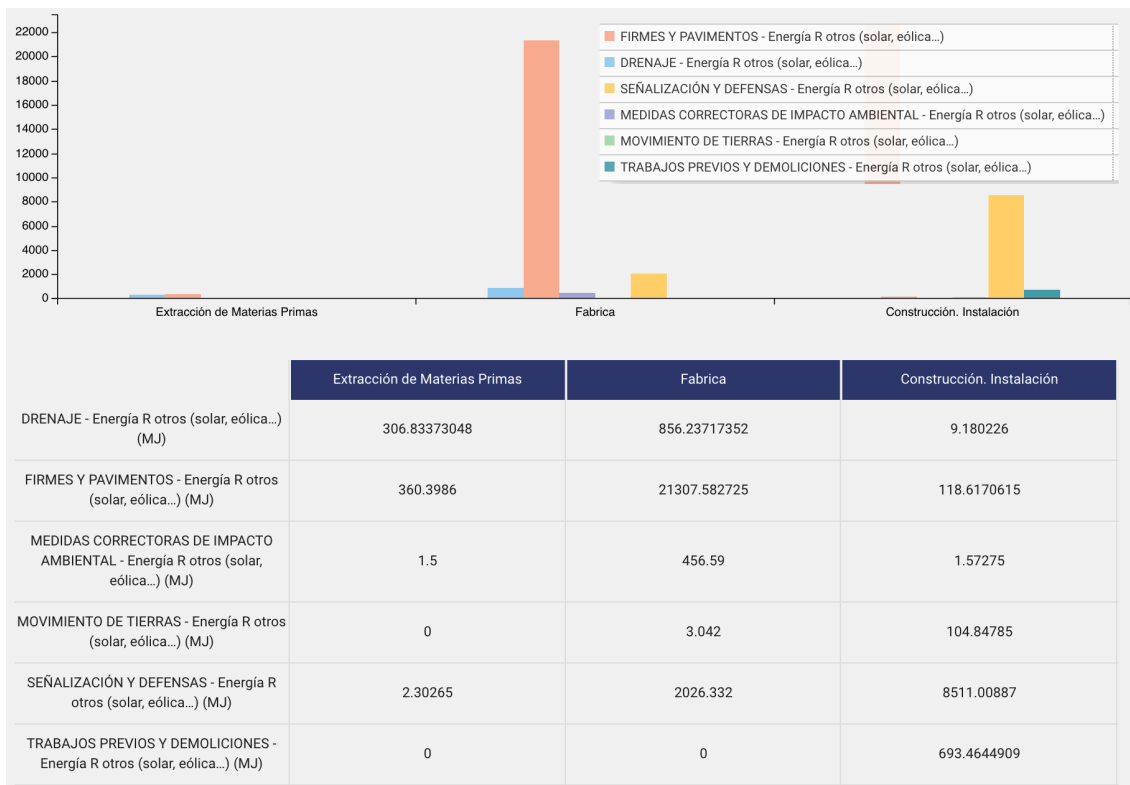


Figura 23. Impactos según capítulos de obra del indicador de energía renovable de origen solar, eólica u otros (en MJ). Fuente: TCQi-GMA.



## 7. EJEMPLO DE APLICACIÓN EN EL CASO DE UNA CARRETERA

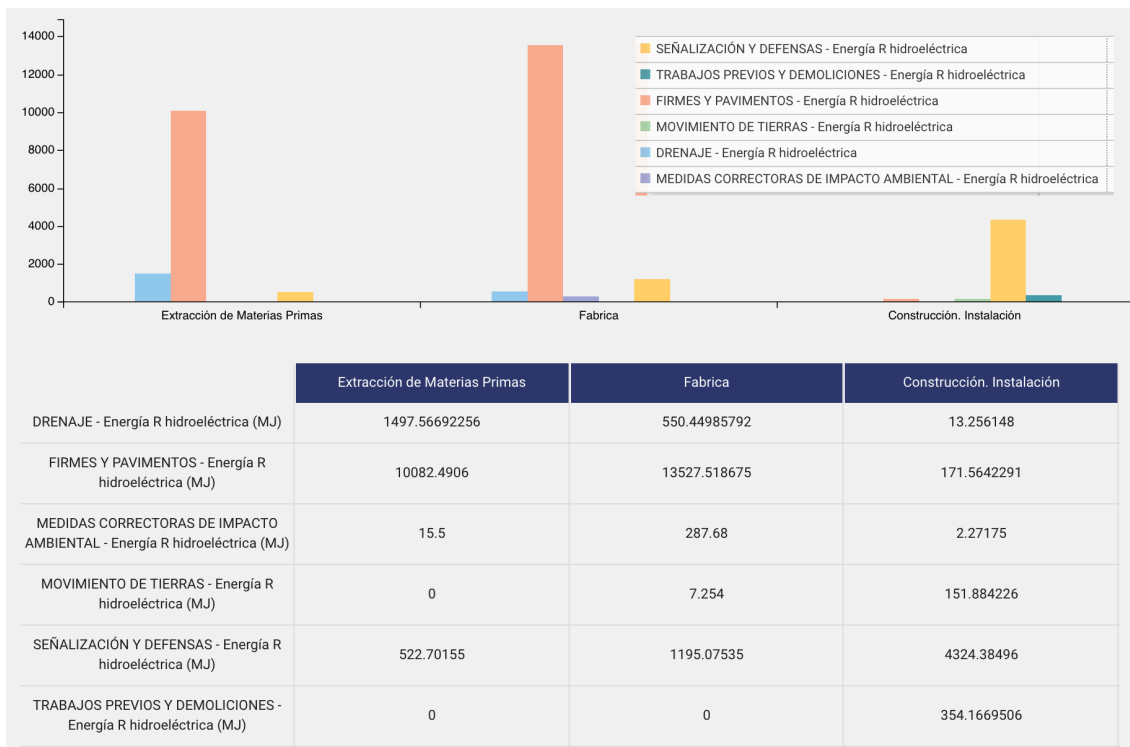


Figura 24. Impactos según capítulos de obra del indicador de energía renovable de origen hidráulico (en MJ). Fuente: TCQi-GMA.

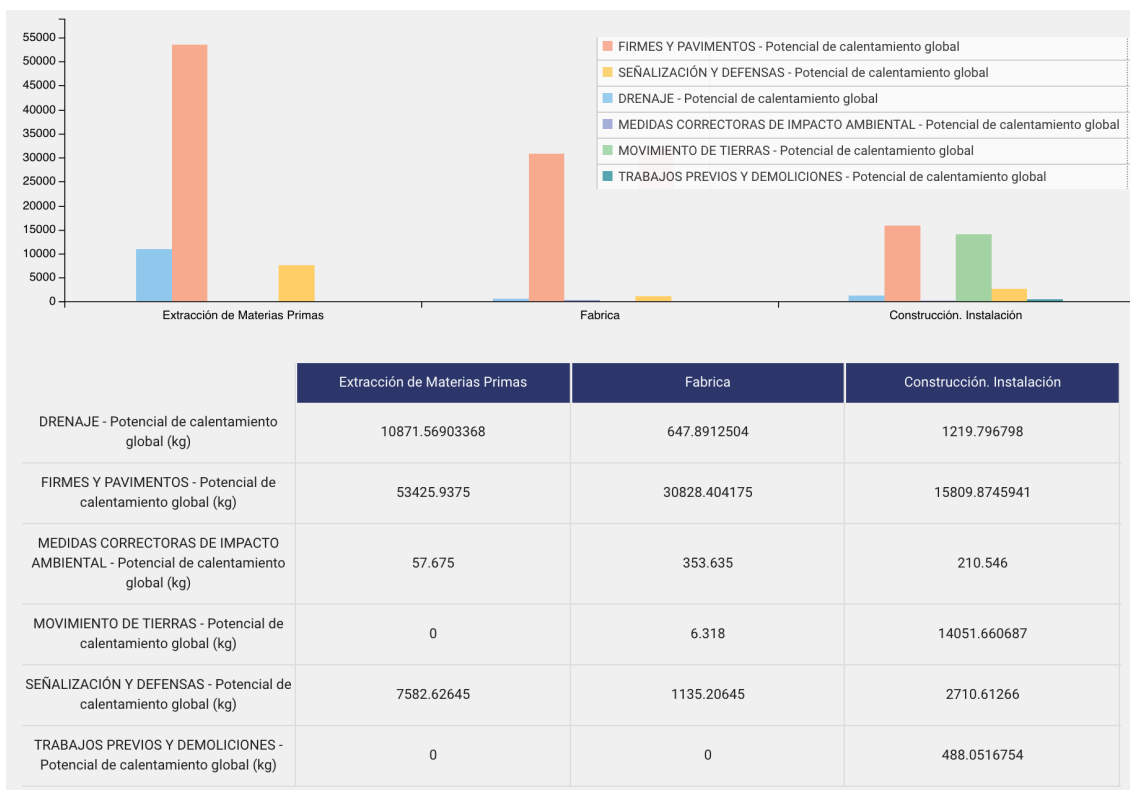


Figura 25. Impactos según capítulos de obra del indicador de potencial de calentamiento global (en kg CO<sub>2</sub> eq). Fuente: TCQi-GMA.



Figura 26. Impactos según capítulos de obra del indicador de acidificación del medio (en kg SO<sub>2</sub> eq). Fuente: TCQi-GMA.

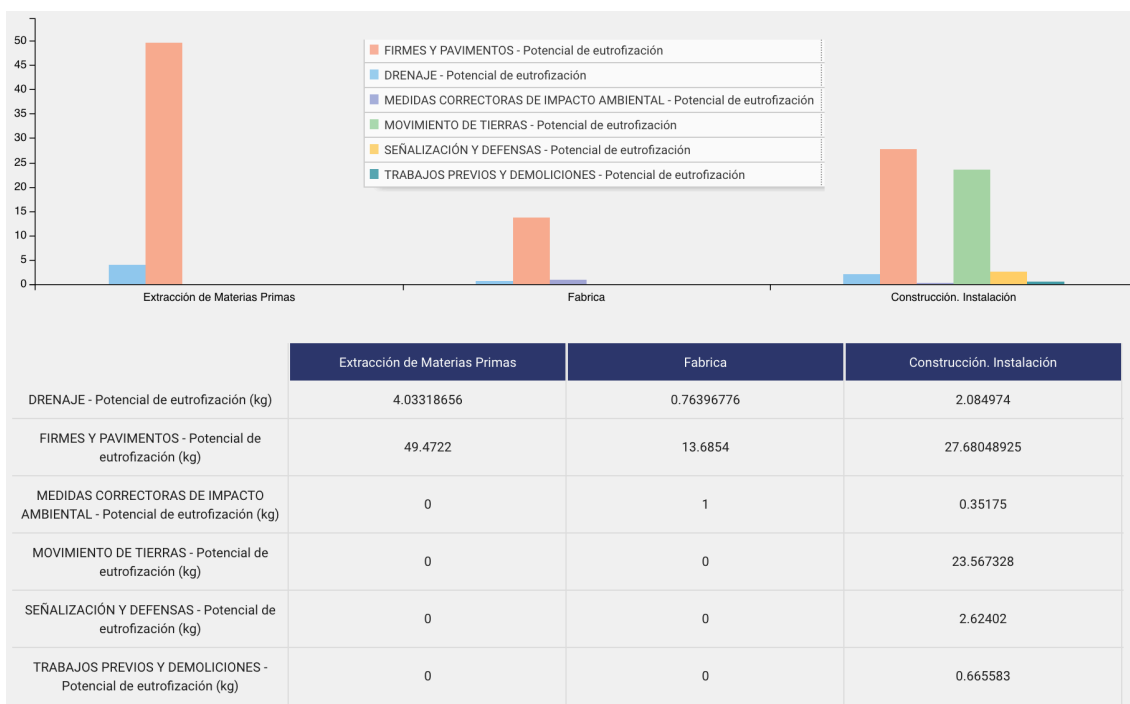


Figura 27. Impactos según capítulos de obra del indicador de eutrofización (en kg (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub><sup>-</sup>). Fuente: TCQi-GMA.

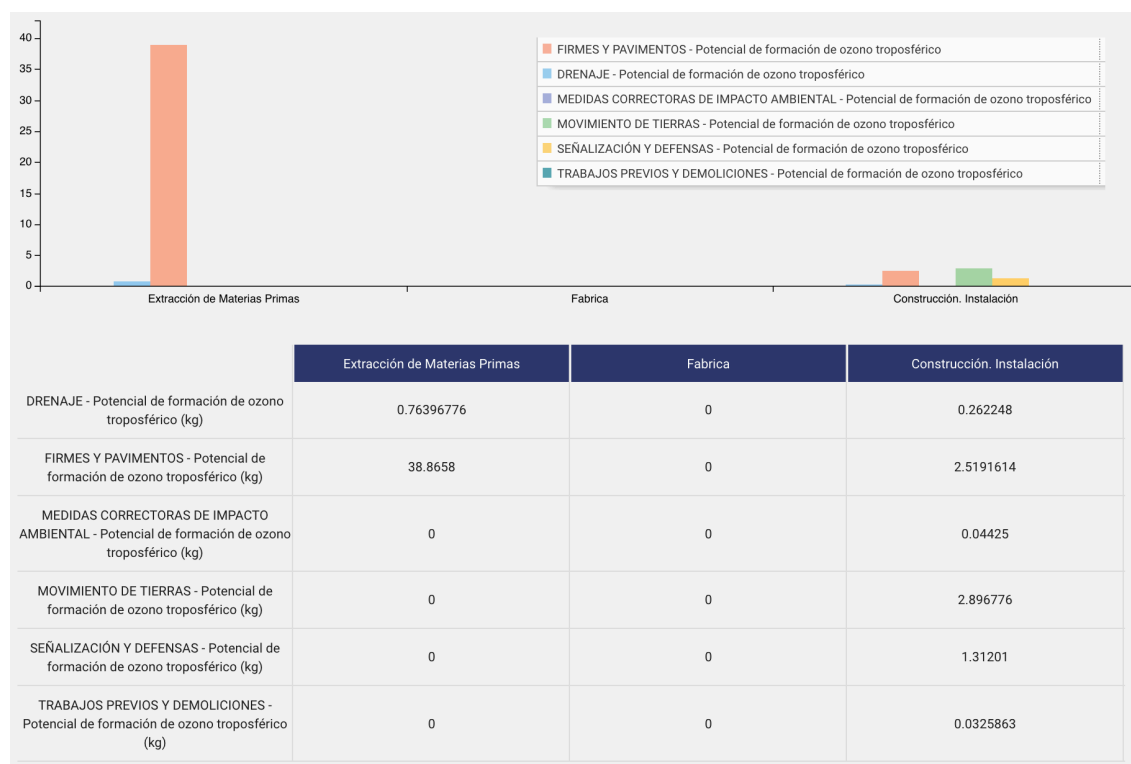


Figura 28. Impactos según capítulos de obra del indicador de potencial de formación de ozono troposférico (en kg etileno eq). Fuente: TCQi-GMA.

### 7.3.4. Mención especial CO<sub>2</sub>

Una de las conclusiones a las que se ha llegado durante la realización de este trabajo es que la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero es algo que sí están contabilizando a día de hoy parte de las grandes constructoras españolas.

La contabilización de estas emisiones, que se refieren únicamente al indicador de potencial de calentamiento global, no sigue la misma estructura que se ha presentado aquí para el caso de cálculo sostenibilidad de una infraestructura.

Para el caso de una infraestructura, se evalúa las emisiones durante todo el ciclo de vida de un producto puesto en la obra civil, o bien para toda la infraestructura en sí. Esto es lo que se conoce como la huella de carbono.

Sin embargo, para la metodología seguida actualmente para la contabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero las constructoras realizan anualmente sus memorias de sostenibilidad y en ellas incluyen las emisiones de gases de efecto invernadero que se han producido durante el curso de un año natural. Además, no se informa únicamente de las emisiones producidas durante sus construcciones sino que se hace a nivel de toda la organización. La organización realiza el cálculo de todo el conjunto de propiedades y actividades que pueden producir emisiones de gases de efecto invernadero.

Como propiedad de la organización, sus fuentes emisoras pueden ser el consumo de los edificios de sus oficinas y sedes, almacenes que puedan tener, su flota de vehículos, entre otros.

Como actividad son los servicios que dan, el mantenimiento de infraestructuras, la construcción de ellas e incluso los viajes de negocios que se realizan para cumplir sus funciones.

La metodología para la realización del informe de emisiones de gases de efecto invernadero daría contenido para realizar otro trabajo como este y se escapan del objeto de estudio tratado.

Los métodos utilizados para realizar estos cálculos, así como la estructura seguida para realizarlos e informarlos se basan en la Norma UNE-EN-ISO 14064-1:2012: *“Gases de efecto invernadero. Especificaciones con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero”* y el referencial sectorial de la ENCORD (European Network of Construction Companies for Research and Development) de la edición de mayo del 2012: *“Protocolo de medición de CO<sub>2</sub> en construcción”*.

Se ha querido realizar este pequeño apartado aquí dado que el indicador ambiental de emisiones de gases de efecto invernadero, o lo que es lo mismo, emisiones de CO<sub>2</sub> (equivalentes), o bien el potencial de calentamiento global, es el comúnmente más utilizado por parte del gran público y el que es más entendible. Aunque, como se ha visto, hay muchos más impactos producidos más allá de este.

A partir del sistema de evaluación de la sostenibilidad propuesto en este proyecto, se puede dar respuesta a parte del informe de emisiones de gases de efecto invernadero. Concretamente a lo que las actividades de construcción, mantenimiento y desmantelamiento de infraestructuras se refiere.

En estos informes se separan las emisiones en tres grupos:

- Alcance 1: emisiones directas de GEI
- Alcance 2: emisiones indirectas de GEI debidas al consumo de energía
- Alcance 3: otras emisiones indirectas de GEI

A modo de resumen, y sin entrar en muchos detalles, en el Alcance 1 se declaran las emisiones que provienen de fuentes directas de la propia empresa en sus actividades. Estas fuentes, en el caso de la construcción sería la combustión de instalaciones fijas o móviles necesarias para realizar la obra. Siguiendo la nomenclatura de las etapas del ciclo de vida, en este Alcance 1 se informaría de las fases A4 (transporte) en caso de realizarse con flota de transporte propiedad o controlada por la empresa y A5 (construcción) de todas las fuentes que generan combustión. En este Alcance 1 entrarían también otras fuentes como puede ser fugas de los equipos, emisiones de procesos o incluso el cambio de uso del suelo.

En el caso del Alcance 2, se informaría del consumo de electricidad en la fase A5. El consumo eléctrico se define como emisión indirecta en esta metodología. Esto es debido a que las emisiones no se producen por la actividad de la empresa que informa, sino que se producen durante la generación de la energía que usa la empresa informante. Es decir, se producen unas emisiones en origen debidas a la demanda de la organización informante.

Finalmente, en el Alcance 3, se informaría de otras emisiones indirectas. En este se podría hacer uso del resto de fases del ciclo de vida, en los que se tiene información de las emisiones aguas arriba y aguas debajo de la propia construcción.

Así pues, se concluye que el sistema de evaluación propuesto en este trabajo ayuda de algún modo a contabilizar los datos necesarios para la realización del informe de gases de efecto invernadero. Para ello, se deberá tener en cuenta que solo debería de informarse la parte de emisiones producidas en el transcurso de un año natural, es decir se debería contabilizar la parte realizada de la obra en el momento de realizarse el informe.

Dado que el cálculo de las emisiones de gas de efecto invernadero está más afianzado en la cultura actual que el resto de impactos producidos por las obras, se puede otorgar un valor monetario a las emisiones producidas, que siempre da una idea mejor del impacto producido.

Cada país tiene una cuota de emisiones anuales, estas se otorgan en función del desarrollo de cada país relacionado con la capacidad que tienen para reducir el volumen de estas emisiones. En caso que un país se exceda del nivel de emisiones, deberá compensarlo con la compra de emisiones de otro país que haya conseguido producirlas por debajo de su cuota. De este modo se crea el mercado de los derechos de emisiones, que siguiendo las normas de mercado, se fomenta una competencia para intentar reducir las emisiones.

Por ello, cada país tiene que poner instrumentos para lograr contabilizar las emisiones que se producen en él. A nivel europeo, existe una directiva para las emisiones de grandes industrias para tenerlas debidamente controladas. El sistema que se propone es el mismo que para el caso de los países, cada industria tiene una cuota de emisión que deberá ser compensada.

Para el resto de emisiones de un país, llamados sectores difusos, los gobiernos proporcionan herramientas, programas y subvenciones para que las empresas de estos sectores informen de sus emisiones de forma voluntaria. En este grupo se encuentran las constructoras.

Aunque no es de obligado cumplimiento, estas empresas tienen la posibilidad de compensar sus emisiones realizando proyectos de compensación para mantener su cuota de emisiones a cero.

De estos mercados de derechos de emisiones de CO<sub>2</sub> y de lo que cuesta a una empresa la realización o compra de un proyecto de compensación de sus emisiones se puede deducir un valor para la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente.

- Según datos de Sendeco2, una plataforma de compra y venta de derechos de emisiones de CO<sub>2</sub> para las industrias que incluye la directiva europea, el precio de derecho de emisión se cotiza a unos 5,18 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> de media en 2017. Sin embargo, el sistema funciona como la bolsa y va sujeto a la demanda. Desde el 2008 ha habido una reducción de la cotización debido a que menos empresas tenían la necesidad de compra de derecho puesto que producían menos debido a la crisis y tenían menos emisiones de las permitidas. En 2008 se situaba el precio por tonelada a unos 22,02 euros de media.
- Según la plataforma CleanCO2, una herramienta que pone en contacto emisores de GEI con proyectos de compensación, la compensación por tonelada de CO<sub>2</sub> cuesta de media entre 8 y 10 euros.

Para el ejemplo práctico realizado, usando un valor de media de 8 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> se obtendría que el valor emitido del indicador de potencial de calentamiento global para un tramo de 1 km de una ampliación para un tercer carril de carretera es de 1116 €.

---

## 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---

Uno de los principales objetivos de la realización de este trabajo era el de asentar las bases para evaluar la sostenibilidad de una obra civil. De este modo, este estudio tiene el propósito de ser el precedente de otras líneas de investigación que puedan ampliar esta materia. Además, por el camino, se han dejado ciertos aspectos que requerirían una investigación más profunda.

Por ello, se explica en este apartado las futuras líneas de investigación que podrían realizarse a partir del presente trabajo.

- Debido a que los indicadores sociales no están tan armonizados como los ambientales, ya que los distintos sistemas de evaluación estudiados usan distintas categorías para ello, los proyectos que se están llevando a cabo usan indicadores tan distintos que van desde accesibilidad, ruido, confort hasta condiciones laborales, derechos humanos, entre otros; y a que los distintos borradores de normativas que se han consultado no tienen claro qué indicadores se deberían usar, convendría realizar un estudio de los indicadores sociales que mayor se adapten al comportamiento de una infraestructura. Estos indicadores pueden asociarse a los materiales usados para evaluar el comportamiento de los distintos elementos de la infraestructura, tales como confort, salud y protección entre otros. También pueden estar asociados con el área de influencia que se defina para los aspectos sociales. Los impactos relacionados con el área de influencia se pueden desarrollar a partir de las herramientas BIM cuando los proyectos se presenten en este tipo de formato. A partir de modelos BIM de la infraestructura se puede conseguir mucha más información acerca del comportamiento social de la obra civil, ya sea por temas de accesibilidad, de efecto barrera producidas por la propia infraestructura u otras.

- Por lo que se refiere a los aspectos económicos, durante la realización de este trabajo se ha pasado muy por encima, explicando tan solo los indicadores económicos que se acostumbra a usar durante la evaluación de la sostenibilidad de una construcción. En sí, el cálculo que se realiza habitualmente es el de calcular los costes de los materiales, los procedimientos y los consumos producidos en cada etapa del ciclo de vida evaluada. Profundizar en el aspecto económico daría para realizar un trabajo extenso de investigación, basado sobretudo en el concepto de “economía circular” que poco a poco va ganando terreno en el sector de la construcción. El principio de este concepto es reducir tanto la entrada de los materiales como la producción de desechos cerrando los “bucles” o

flujos tanto económicos como ecológicos de los recursos, en los que la propia construcción se convierte en un banco de materiales y todos son reutilizados para posteriores usos.

- Por lo que al tema económico se refiere, convendría estudiar los costes de realizar este tipo de evaluaciones y los beneficios obtenidos, así como una valorización de la sostenibilidad. Esto es necesario debido a que la fórmula más utilizada en la sociedad actual para el desarrollo de nuevas tendencias es la competitividad, así pues, se deben dar instrumentos que beneficien y premien esta competencia para asegurar el interés de las constructoras para trabajar con estas metodologías.

- Se ha visto una gran cantidad de indicadores que se pueden informar en una evaluación de la sostenibilidad, es por ello que se podría realizar un estudio para ver qué indicadores se ajustan más y tienen un comportamiento mejor según la tipología de infraestructura a evaluar. Esta idea es útil cuando el propósito de la evaluación sea la comparación entre distintas alternativas, de este modo se puede simplificar la metodología y focalizarla en aquellos indicadores que pueden ser diferenciales entre una alternativa y otra. Estos indicadores se identificarían con análisis de sensibilidad.

- Para poder obtener unos valores de referencia se deberían realizar varias evaluaciones de sostenibilidad en distintas infraestructuras y para distintas tipologías. Estos ratios de valores usuales servirían para comparar al realizar un proyecto por primera vez antes de empezar a mejorar su comportamiento sostenible en base a su primera versión o bien para comparar infraestructuras ya construidas con valores de referencia.

- Se han estudiado distintos sistemas de evaluación de la sostenibilidad, en ellos se otorgaba una nota final con el objetivo de cualificar la infraestructura y otorgarle un sello de distinción sostenible. A partir de la metodología propuesta en este trabajo y de los valores de referencia que se acaban de comentar, se podría crear un sistema de ponderación para cada indicador, según la tipología de obra o sus funciones entre otras, para otorgar un único valor que determine el comportamiento sostenible de un modo más global. En este aspecto, se diferenciaría de los sistemas de evaluación de la sostenibilidad del mercado que en mayor parte son solo de cualificación de los proyectos, en este caso la cualificación se realizaría a partir de la cuantificación de sus impactos.

- El sistema de evaluación propuesto en el presente trabajo pretende ser una primera fase para poder, a partir de ello, tomar decisiones. De este modo, convendría realizar un ejemplo comparativo de los dos modelos de construcción: el actual, realizando un presupuesto y después añadirle la información sobre la sostenibilidad a partir de lo presupuestado y el que se propone aquí, teniendo en cuenta los parámetros sostenibles desde la misma realización del presupuesto. La comparativa se debería realizar para las tres dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, social y económica) para poder sacar conclusiones de cada una de ellas y ver, en caso necesario, como se pueden compensar unas y otras.



- Tal como se ha comentado brevemente en el presente trabajo, uno de los aspectos sobre la sostenibilidad, en particular para la dimensión ambiental, que se tiene muy en cuenta en la actualidad es el informe de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estos informes tienen unas necesidades, métodos de cálculo y maneras de clasificar la información que son distintas a lo expuesto aquí. Para ello, convendría realizar un estudio acerca de los distintos protocolos, normativas y estándares que regulan estos informes para ver la compatibilidad con el sistema de evaluación presentado. De este modo, al realizar una evaluación, se podrían obtener ya todos los datos necesarios y con el formato que requieren los informes de gases de efecto invernadero.
- Para finalizar, en caso que no se puedan reducir ciertos impactos debidos a la construcción, mantenimiento o demolición de una infraestructura, se podrían estudiar las medidas compensatorias que se podrían llevar a cabo como corrección de los impactos debidos.



---

## 9. CONCLUSIONES

---

Para finalizar el trabajo se expondrán a continuación las conclusiones que se han ido extrayendo de los distintos aspectos analizados durante la realización de este estudio, así como las conclusiones finales que responden a los objetivos y razón de ser de este proyecto.

La metodología que más se ajusta para evaluaciones de impacto ambiental para un producto, y por extensión a una construcción, es aquella basada en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Esto se debe a la ventaja frente a otras metodologías que supone examinar todos los procesos seguidos por las materias primas, elementos y procedimientos durante todo el ciclo de vida. El ACV permite detectar situaciones en las que un determinado producto parece más ecológico que otro simplemente porque sus cargas ambientales se transfieren a otros procesos, otras etapas u otras zonas geográficas, sin que se produzca una mejora real desde el punto de vista global.

Se ha visto que de los distintos tipos de ecoetiquetas que existen, las de Tipo III, las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), son las que se pueden aprovechar para la realización de una metodología de evaluación de sostenibilidad ya que aportan información cuantitativa de los impactos ambientales del producto en cada una de las etapas del ciclo de vida haciendo uso de la metodología del ACV. Además, para el caso de productos de la construcción son las que normalizan, por primera vez, la información a incluir y diferencian las distintas etapas del ciclo de vida de una edificación u obra civil.

En cuanto a la situación actual en materia de sostenibilidad, al compararse el sector de edificación con el de obra civil se concluye que para el sector de la edificación esta materia está mucho más desarrollado. Para el caso de obra civil están empezando a emerger algunos sistemas de evaluación parecidos a los existentes para edificación, además, los distintos comités técnicos están trabajando en normalizar estos sistemas de evaluación. Tal como ha pasado en edificación, se espera que estas iniciativas se vayan ampliando en un futuro próximo y que estos conceptos cada vez tengan más importancia dentro del sector.

De esta comparación se concluye también el cierto paralelismo que siguen ambos caminos, no obstante, se cree que las normativas a aplicar en un sector y otro no sólo han de ser parecidas sino que deberían ser las mismas. De este modo se puede aprovechar todo lo aprendido en ambos sectores y que parte de la información sea útil, compatible y

fácilmente adaptable en ambos casos. Un ejemplo de ello es el uso de las DAP para los materiales de construcción, que a “grosso modo”, son los mismos para ambos sectores.

A partir de diversas reuniones mantenidas con distintas constructoras para debatir sobre la materia, se concluye que el sector necesita desarrollar nuevas herramientas para implementar el desarrollo sostenible en construcción, para poder informar de sus impactos y poder desarrollar planes estratégicos para la reducción de éstos y para diferenciarse e innovar en sus construcciones introduciendo la variable sostenible. Es por ello que parte de sus esfuerzos en proyectos de I+D+i están destinados a investigación en esta materia.

En el caso de obra civil, se puede entender el Estudio de Impacto Ambiental y la Declaración de Impacto Ambiental como un antecedente a la evaluación de la sostenibilidad, sin embargo se queda corto si se compara con la evaluación perseguida por las metodologías vistas y las propuestas en este trabajo. Este tipo de estudios permiten valorar los efectos que la ejecución de un proyecto puede causar sobre el medio ambiente. De este modo, solo evalúa una dimensión de la sostenibilidad, la ambiental; solo tiene en cuenta una parte del ciclo de vida de la infraestructura, diseño y ejecución de obra; y únicamente se centran en el impacto local de la obra para proponer medidas correctoras, mientras que una evaluación completa de la sostenibilidad abarca una escala global dado que incluye transportes, extracción de materias primas y fabricación que pueden estar fuera del ámbito local de la propia obra, además de indicadores de impacto globales.

Para realizar correctamente la evaluación de la sostenibilidad de una infraestructura, se concluye que una de las partes fundamentales es el establecimiento de los límites del sistema y de cada etapa que se va a evaluar. De este modo se evita la doble contabilidad que aportaría resultados incongruentes y no servirían para una posterior toma de decisiones.

En el caso del ejemplo práctico se ha observado que para casi todos los indicadores evaluados, la etapa que más impactos produce es la de extracción de materias primas (A1). Los únicos indicadores en los que no es así son los que hacen referencia al consumo de energías renovables. Dado que el valor más alto que se obtiene es el de uso de energías no renovables, se concluye que los mayores impactos se producen en extracción de materias primas debido al uso de combustible fósil.

Con estos resultados se debería considerar el uso de otro tipo de materiales para evitar el impacto generado por la etapa A1. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no se han evaluado los transportes, y que sus impactos pueden ser contraproducentes si el emplazamiento de las materias primas está muy lejos de la obra evaluada.

Siguiendo la misma línea de reducir la extracción de materias primas, así como rebajar el uso de recursos naturales, se concluye que la mejor manera de reducir estos impactos es mediante el uso de material reciclado. De este modo se fomenta la economía circular, en la que a los materiales se les da más de un uso y se obtienen impactos ambientales más bajos, pero también menos costes económicos.

Una vez analizada la situación actual en el ámbito de la evaluación de la sostenibilidad en obra civil, se ha constatado que la necesidad de desarrollar metodologías en esta dirección es latente en el sector.

Estas metodologías deben marcarse como primer objetivo que sean útiles y que las use la mayor cantidad posible de agentes del sector. Para ello, es conveniente que se trate de metodologías sencillas, aunque incluyan la complejidad del tema, y que armonicen los distintos estándares, protocolos y normativas. Además, deben ser compatibles con los distintos sistemas de evaluación sostenible que existen para infraestructuras.

El objetivo de los datos obtenidos al realizar una evaluación del comportamiento sostenible de una infraestructura no es tan solo informar, sino ser la primera fase de un planeamiento teniendo en cuenta la vertiente sostenible como un parámetro de decisión más.

Así pues, la obtención de estos datos permite a los técnicos encargados de la sostenibilidad de un proyecto unirse a la toma de decisiones en la fase de proyecto, ya sea para una nueva construcción o para una existente, al evaluar todo el ciclo de vida de la infraestructura.

A partir de los resultados obtenidos, el técnico puede mejorar el comportamiento sostenible de la infraestructura reduciendo los impactos a partir del uso de otros materiales u otros procedimientos constructivos.

Además, estas mejoras contribuyen al conocimiento de los técnicos y del mismo proyecto en el que en posteriores fases o proyectos se podrá recurrir a las medidas de mejoras utilizadas, y a partir de nuevas evaluaciones volver a reducir los impactos. De este modo se genera una mejora continua de los proyectos.

La utilización de distintas herramientas de software y bases de datos ayudan a simplificar estas tareas y a almacenar las actuaciones realizadas en cada proyecto para que sea una fuente de conocimiento a utilizar posteriormente, sin suponer una carga de trabajo añadida.

Esta filosofía de mejora continua repercute también en los fabricantes de materiales de la construcción. Dado que el técnico tiene la potestad de escoger productos que tengan unos comportamientos sostenibles mejores para sus proyectos, los fabricantes tienen la necesidad de informar del comportamiento sostenible de sus productos y de mejorarlos para hacer frente a sus competidores.

Como los datos obtenidos son fruto de la evaluación de todas las etapas del ciclo de vida, se comprueba cómo la mejora del comportamiento sostenible con la reducción de impactos ambientales va ligada a una reducción del uso de energía, lo que tendrá un coste a la larga beneficioso durante toda su vida útil para la constructora, administración, concesionaria u otros.

A parte de lo mencionado, las constructoras usan esta información para obtener sellos proporcionados por los distintos sistemas de evaluación de la sostenibilidad y mejorar la

puntuación en ellos; para dar más transparencia a sus actividades en cuanto al aspecto sostenible se refiere; para cumplir con las buenas actuaciones de la empresa y su responsabilidad social corporativa; entre otras aplicaciones. Una de las motivaciones principales que además tienen las empresas responde a operaciones de marketing con el objetivo de destacar sobre sus competidores.

Otro de los aspectos que contabilizan actualmente las constructoras son las emisiones de gases de efecto invernadero, se concluye que a pesar de no seguir la misma metodología ni estructura de información que la expuesta aquí para el comportamiento sostenible, realizando la evaluación de la sostenibilidad de la infraestructura basada en el análisis del ciclo de vida se aportan los datos necesarios para realizar un informe de gases de efecto invernadero.

Como se ha mencionado, la competencia entre los distintos agentes hace que se desarrollen proyectos de innovación sobre sistemas de evaluación de sostenibilidad así como la adaptación de criterios ambientales en las actividades de las constructoras. Esta competencia de mercado es la que está haciendo que poco a poco se vaya creando un nuevo modelo de construcción en los que los parámetros sostenibles tengan un peso relevante. Sin embargo, en muchos casos, los esfuerzos de las constructoras no se ven beneficiados y se convierten en un gasto más para la empresa. Por este motivo, y para fomentar aún más la competencia como motor de desarrollo, las administraciones deberían hacer algo al respecto, como por ejemplo exigiendo evaluaciones de este tipo para la licitación de obra pública, fijando niveles de emisiones o premiando a los proyectos que informen y reduzcan o compensen sus emisiones.

Para concluir, en este trabajo ha quedado demostrado que las herramientas más desarrolladas para la evaluación de la sostenibilidad corresponden solo a la dimensión ambiental, y son éstas las que asientan las bases. No obstante, no se debe olvidar que para realizar una evaluación de la sostenibilidad completa se deben incluir las dimensiones sociales y económicas, puesto que el desarrollo sostenible se dará cuando exista un equilibrio entre ellas.

---

## 10. REFERENCIAS

---

### Libros y artículos

ACCIONA (2013) *Environmental Product Declaration: N-340 road*.

BURGUEÑO, A. (2015) *Análisis de ciclo de vida, declaración ambiental de producto y cálculo de huella de carbono*. FCC Construcción.

ENCORD (2012) *Construction CO<sub>2</sub>e Measurement Protocol*. GHG Protocol.

EPD (2016) *Product category rules: highways (except elevated highways), streets and roads*.

GRIFFITHS, K.; BOYLE, C.; HENNING, T. (2015) *Comparative assessment of infrastructure sustainability rating tools*.

JOINT RESEACH CENTRE (2012) *The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook*. European Comission.

IHOBE (2010) *Green Building Rating Systems:¿Cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación?* Departamento de medio ambiente, planificación territorial, agricultura y pesca. Gobierno Vasco.

ISOVER (2013) *Declaraciones ambientales de producto. Aislamiento Sostenible*. ISOVER: Guadalajara.

LUCAS, J. (2015) *Análisis del ciclo de vida de los materiales de la construcción*. Trabajo final de grado, EPSEB-UPC.

ZABALZA, I.; ARANDA, A.; SCARPELLINI, S.; CIRCE (2012) *Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación*. Proyecto EnerBuiLCA.

### Páginas web

AENOR (2017) *AENOR-GlobalEPD: Una declaración ambiental verificada*. Disponible en: <http://www.aenor.es/aenor/certificacion/mambiente/globalepd.asp>

BREEAM (2017) *BREEAM ES: el certificado de la construcción sostenible*. Disponible en: <http://www.breeam.es>

CEEQUAL (2017) *CEEQUAL*. Disponible en: <http://www.ceequal.com>

CSOSTENIBLE (2017) *Programa DAPconstrucción, Agenda de la Construcción Sostenible*. Disponible en: [http://www.csostenible.net/index.php/es/sistema\\_dapc](http://www.csostenible.net/index.php/es/sistema_dapc)

D-FINE (2017) *Estrategias para la sostenibilidad – Certificación ambiental de edificios*. Disponible en: <http://www.d-fine.es/archivos/servicios/certificacion-ambiental-de-edificios/>

DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT (2017) *Avaluació d'impacte ambiental de projectes d'infraestructuras*. Disponible en: [http://mediambient.gencat.cat/ca/05\\_ambits\\_dactuacio/avaluacio\\_ambiental/avaluacio\\_dimpacte\\_ambiental\\_de\\_projectes/](http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/avaluacio_ambiental/avaluacio_dimpacte_ambiental_de_projectes/)

ENVIRONDEC (2017) *El sistema EPD® Internacional – Environmental Product Declarations*. Disponible en: <http://www.environdec.com/es/>

EOI (2017) *Construcción sostenible – wiki EOI de documentación docente*. Disponible en: [http://www.eoi.es/wiki/index.php/Construcción\\_sostenible](http://www.eoi.es/wiki/index.php/Construcción_sostenible)

FCC CONSTRUCCIÓN (2017) *SAMCEW®, una metodología propia para evaluar la sostenibilidad de nuestros proyectos de obra civil*. Disponible en: <http://www.fccco.com/es/-/samcew-una-metodologia-propia-para-evaluar-la-sostenibilidad-de-nuestros-proyectos-de-obra-civil>

GBCE (2017) *Certificación VERDE*. Disponible en: <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde>

GREENROADS (2017) *What is Greenroads? – Greenroads Rating System*. Disponible en: <https://www.greenroads.org/howitworks>

INSTITUTO EDUARDO TORROJA (2017) *Seminario 12 Cursos avanzados - sostenibilidad: productos, DAP, herramientas, bases de datos y ejemplos*. Disponible en: <http://cursosavanzados.ietcc.csic.es/index.php/23-cursos/cursos-2016/76-seminario-13>

KNAUF INSULATION (2017) *Certificación Medioambiental de edificios: LEED, BREEAM, HQE, DGNB, VERDE*. Disponible en: <http://www.knaufinsulation.es/certificacion-medioambiental-de-edificios-breeam-leed-hqe-dgnb-verde>

LCE4ROADS (2017) *Proyecto LCE4ROADS*. Disponible en: <http://www.lce4roads.eu/>

LIFE HUELLAS (2017) *Proyecto Life Huellas*. Disponible en: [http://life-huellas.eu/home\\_es](http://life-huellas.eu/home_es)

OPENDAP (2017) *OpenDAP*. Disponible en : <http://www.opendap.es/acvnormativa>

SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE (2017) *Sustainability projects – Institute for sustainable infrastructure. Envision*. Disponible en: <https://sustainableinfrastructure.org/envision>



TRANSPORT RESEARCH & INNOVATION PORTAL (2017) *Sustainability – National Road Administrations*. Disponible en: <http://www.transport-research.info/project/sustainability-national-road-administrations>

USGBC (2017) *LEED – U.S. Green Building Council*. Disponible en: <http://www.usgbc.org/leed>

ZERO-CONSULTING (2017) *Certificaciones sostenibles: ¿Cuál es la más adecuada para tu proyecto?* Disponible en: <http://www.zero-consulting.com/es/post/comparativa-certificaciones-sostenibilidad>

### Normativa

UNE-EN-ISO 14021 (2002): *Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Autodeclaraciones medioambientales (Etiquetado ecológico Tipo II)*.

UNE-EN-ISO 14024 (2001): *Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Etiquetado ecológico Tipo I. Principios y procedimientos*.

UNE-EN-ISO 14025 (2010): *Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos*.

UNE-EN ISO 14040 (2006): *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*.

UNE-EN ISO 14044 (2006): *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*.

UNE-EN ISO 14064-1 (2015): *Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero*.

UNE-ISO/TR 14069 IN (2015): *Gases de efecto invernadero. Gases de efecto invernadero. Cuantificación e informe de las emisiones de gases de efecto invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la Norma ISO 14064-1*.

UNE-EN 15643-1 (2012): *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 1: Marco general*.

UNE-EN 15643-2 (2012): *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental*.

UNE-EN 15643-3 (2012): *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social*.

UNE-EN 15643-4 (2012): *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico*.

prEN 15643-5 (2017): *Framework on specific principles and requirement for civil engineering works*. CEN/ TC350/ WG6.

UNE-EN 15804 (2014): *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción*.

UNE-CEN/TR 15941 (2011): *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Metodología para la selección y uso de datos genéricos*.

UNE-EN 15942 (2013): *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Formato de comunicación negocio a negocio*.

UNE-EN 15978 (2012): *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo*.

UNE-EN 16309 (2015): *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento social de los edificios. Métodos de cálculo*.

UNE-EN 16627 (2016): *Sostenibilidad en las obras de construcción. Evaluación del comportamiento económico de los edificios. Métodos de cálculo*.

PNE-CWA 17089 (2017): *Indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de carreteras*.

WI 00350### (2017): *Assessment of environmental, economic and social performance of civil engineering works. Calculation method*. CEN/ TC350/WG6.

---

## 11. ANEJOS

---



PRESUPUESTO			ANEJO A			Página 1/3
01		Ampliación tercer carril				
Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL				
Capítulo	01	TRABAJOS PREVIOS Y DEMOLICIONES				
Subcapítulo	01	TRABAJOS PREVIOS Y DEMOLICIONES				
NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	G2144301	m3	Derribo de estructuras de hormigón armado, con medios mecánicos y carga manual y mecánica de escombros sobre camión o contenedor	45,93 €	44,700	2.053,07 €
TOTAL CAPITULO			01.01.01	2.053,07 €		
Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL				
Capítulo	02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Subcapítulo	01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	G22D3011	m2	Desbroce del terreno de más de 2 m, con medios mecánicos y carga mecánica sobre camión	0,58 €	6.606,200	3.831,60 €
2	G2216101	m3	Excavación en zona de desmonte, de tierra vegetal, con medios mecánicos y carga sobre camión	1,89 €	1.872,200	3.538,46 €
3	G2214101	m3	Excavación en zona de desmonte, de terreno no clasificado, con medios mecánicos y carga sobre camión	2,74 €	4.827,500	13.227,35 €
4	G2262211	m3	Extendido y compactación de suelo adecuado de la obra, en tongadas de 50 cm de grueso, como máximo, con compactación del 95 % PM, utilizando rodillo vibratorio autopropulsado, y humedeciendo	2,57 €	468,000	1.202,76 €
TOTAL CAPITULO			01.02.01	21.800,16 €		
Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL				
Capítulo	03	FIRMES Y PAVIMENTOS				
Subcapítulo	01	EXPLANADA				
NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	G2266211	m3	Extendido y compactación de suelo seleccionado de aportación, en tongadas de 50 cm de grueso, como máximo, con compactación del 95 % PM, utilizando rodillo vibratorio autopropulsado, y humedeciendo	13,76 €	1.140,450	15.692,59 €
TOTAL CAPITULO			01.03.01	15.692,59 €		
Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL				
Capítulo	03	FIRMES Y PAVIMENTOS				
Subcapítulo	02	FIRMES Y PAVIMENTOS				
NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	G921202J	m3	Subbase de zahorras artificial, colocada con motoniveladora y compactado del material al 98% del PM	22,28 €	1.228,800	27.377,66 €
2	G93AE220	t	Base de mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 32 base B 50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo, extendida y compactada	50,50 €	1.634,200	82.527,10 €
TOTAL CAPITULO			01.03.02	109.904,76 €		

PRESUPUESTO

NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
3	G93AD220	t	Base de mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 22 base B 50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo, extendida y compactada	51,47 €	1.191,740	61.338,86 €
5	G9H3P151	m2	Pavimento de mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido granítico, para una capa de rodadura de 4 cm de espesor	4,67 €	13.258,000	61.914,86 €
6	G9J12E40	m2	Riego de imprimación con emulsión bituminosa catiónica tipo C50BF4 IMP, con dotación 1 kg/m2	0,39 €	4.804,740	1.873,85 €
7	G9J13J40	m2	Riego de adherencia con emulsión bituminosa catiónica tipo C60B3/B2 ADH, con dotación 1 kg/m2	0,40 €	20.660,250	8.264,10 €

TOTAL CAPITULO	01.03.02	243.296,43 €
----------------	----------	--------------

Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL
Capítulo	04	DRENAJE
Subcapítulo	01	ODT

NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	GD75PAK5	m	Alcantarilla de tubo de hormigón de D=120 cm, rejuntado interiormente con mortero M-10 , solera de 25 cm, relleno hasta medio tubo y anillado con hormigón HM-20/P/20/I	216,38 €	17,480	3.782,32 €

TOTAL CAPITULO	01.04.01	3.782,32 €
----------------	----------	------------

Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL
Capítulo	04	DRENAJE
Subcapítulo	02	DRENAJE LONGITUDINAL

NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	GD571310	m	Cuneta profunda triangular, de 1,50 m de ancho y 0,33 m de profundidad, con un revestimiento mínimo de 10 cm de hormigón de 20 N/mm2 de resistencia característica a compresión, incluida excavación de terreno no clasificado, refinado, carga y transporte al vertedero de los materiales resultantes	18,94 €	229,000	4.337,26 €

TOTAL CAPITULO	01.04.02	4.337,26 €
----------------	----------	------------

Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL
Capítulo	05	SEÑALIZACIÓN Y DEFENSAS
Subcapítulo	01	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	GBA1E526	m	Pintado sobre pavimento de marca vial longitudinal continua sonora para uso permanente y retrorreflectante en seco, con humedad y con lluvia, tipo P-RRS, de 10 cm de anchura, con termoplástico de aplicación en caliente de color blanco y microesferas de vidrio, aplicada mecánicamente mediante extrusión	1,28 €	1.051,500	1.345,92 €

TOTAL CAPITULO	01.05.01	1.345,92 €
----------------	----------	------------

PRESUPUESTO

NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
2	GBA1F526	m	Pintado sobre pavimento de marca vial longitudinal continua sonora para uso permanente y retrorreflectante en seco, con humedad y con lluvia, tipo P-RRS, de 15 cm de anchura, con termoplástico de aplicación en caliente de color blanco y microesferas de vidrio, aplicada mecánicamente mediante extrusión	6,40 €	2.309,000	14.777,60 €

TOTAL CAPITULO	01.05.01	16.123,52 €
----------------	----------	-------------

Obra	01	AMPLIACIÓN TERCER CARRIL
Capítulo	06	MEDIDAS CORRECTORAS DE IMPACTO AMBIENTAL
Subcapítulo	01	SIEMBRAS Y PLANTACIONES

NUM.	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	GR3P1C16	m3	Extendido de tierra vegetal procedente de la obra, con motoniveladora pequeña	3,04 €	75,000	228,00 €
2	GR7217H0	m2	Hidrosiembra de mezcla de semillas para césped tipo Standard C4 según NTJ 07N, con una dosificación de 10 g/m2, agua, mulch de fibra vegetal a base de paja picada y fibra corta de celulosa (200g/m2), abono organo-mineral de liberación lenta, bioactivador microbiano y estabilizador sintético de base acrílica, en una superficie de 500 a 2000 m2	0,99 €	250,000	247,50 €

TOTAL CAPITULO	01.06.01	475,50 €
----------------	----------	----------





Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Elementos simples de Mano de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción	Precio
	A0121000	h	Oficial 1a	23,38€
	A0125000	h	Oficial 1a soldador	23,77€
	A012N000	h	Oficial 1a de obra pública	23,38€
	A012P000	h	Oficial 1a jardinero	28,01€
	A0140000	h	Peón	19,52€
	A0150000	h	Peón especialista	20,19€

## JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 2/16

### Elementos simples de Maquinárea

Número	Código	U.A.	Descripción	Precio
	C1101200	h	Compresor con dos martillos neumáticos	15,65€
	C1105A00	h	Retroexcavadora con martillo rompedor	64,48€
	C1311430	h	Pala cargadora sobre neumáticos de 8 a 14 t	73,05€
	C1311440	h	Pala carregadora sobre pneumàtics de 15 a 20 t	88,61€
	C13124A0	h	Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 12 a 20 t	84,74€
	C1313330	h	Retroexcavadora sobre pneumàtics de 8 a 10 t	50,90€
	C1331100	h	Motoniveladora pequeña	58,56€
	C1331200	h	Motoniveladora mediana	64,74€
	C13350C0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado, de 12 a 14 t	67,39€
	C13350E0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado, de 14 a 16 t	75,85€
	C1502D00	h	Camión cisterna de 6 m3	41,26€
	C1502E00	h	Camión cisterna de 8 m3	42,49€
	C1503000	h	Camión grúa	45,42€
	C1702D00	h	Camión cisterna para riego asfáltico	28,13€
	C1709B00	h	Extendedora para pavimentos de mezcla bituminosa	53,72€
	C170D0A0	h	Rodillo vibratorio para hormigones y betunes autopropulsado neumático	61,61€
	C170E000	h	Barredora autopropulsada	41,62€
	C1B05A00	h	Máquina para pintar bandas de vial con termoplástico en caliente mediante extrusión, autopropulsada	72,00€
	C200S000	h	Equipo y elementos auxiliares para corte oxiacetilénico	6,61€
	CR713300	h	Hidrosembradora montada sobre camión, con depósito de 2500 l, con bomba incorporada de 15 a 20 kW	35,32€

## JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 3/16

### Elementos simples de Material

Número	Código	U.A.	Descripción	Precio
	B0111000	m3	Agua	1,67€
	B0372000	m3	Zahorras artificial	15,95€
	B03D1000	m3	Tierra seleccionada	9,33€
	B0552100	kg	Emulsión bituminosa catiónica con un 60% de betún asfáltico, para riego de adherencia tipo C60B3/B2 ADH, según UNE-EN 13808	0,23€
	B0552460	kg	Emulsión bituminosa catiónica con un 50% de betún asfáltico, para riego de imprimación tipo C50BF4 IMP con un contenido de fluidificante >3%, según UNE-EN 13808	0,24€
	B064300C	m3	Hormigón HM-20/P/20/I de consistencia plástica, tamaño máximo del árido 20 mm, con >= 200 kg/m3 de cemento, apto para clase de exposición I	59,55€
	B07102A0	t	Mortero para albañilería, clase M 10 (10 N/mm2), a granel, de designación (G) según norma UNE-EN 998-2	31,86€
	B0A14200	kg	Alambre recocido de diámetro 1,3 mm	1,17€
	B0A31000	kg	Clavo de acero	1,36€
	B0D21030	m	Tablón de madera de pino para 10 usos	0,38€
	B0DZA000	l	Desencofrante	2,75€
	B9H11J52	t	Mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 22 base B 50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo	46,84€
	B9H11K52	t	Mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 32 base B 50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo	46,29€
	B9H3P151	t	Mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido granítico	55,34€
	BBA16100	kg	Termoplástico en caliente aplicable por extrusión de color blanco, para marcas viales	1,30€
	BBA1M200	kg	Microesferas de vidrio para marcas viales retrorreflectantes en seco, con humedad y con lluvia	1,22€
	BD75P000	m	Tubo de hormigón de diámetro 120 cm	83,41€
	BR34J000	kg	Bioactivador microbiano	6,62€
	BR361100	kg	Estabilizante sintético de base acrílica	8,21€
	BR3A7000	kg	Abono mineral sólido de fondo, de liberación lenta	5,52€
	BR3PAN00	kg	Acolchado protector para hidrosiembras de fibra semicorta	0,92€
	BR4U1H00	kg	Mezcla de semillas para césped tipo Standard C4, según NTJ 07N	4,72€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 4/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
	G2144301	m3	Derribo de estructuras de hormigón armado, con medios mecánicos y carga manual y mecánica de escombros sobre camión o contenedor	Rendimiento	1,00%		45,93€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe
	<b>Mano de obra</b>						
	A0125000	h	Oficial 1a soldador	0,400 /R x	23,77000 =	9,50800€	
	A0140000	h	Peón	0,400 /R x	19,52000 =	7,80800€	
	A0150000	h	Peón especialista	0,720 /R x	20,19000 =	14,53680€	
				subtotal		31,85280	31,85280€
	<b>Maquinaria</b>						
	C1101200	h	Compresor con dos martillos neumáticos	0,360 /R x	15,65000 =	5,63400€	
	C1311430	h	Pala cargadora sobre neumáticos de 8 a 14 t	0,073 /R x	73,05000 =	5,32535€	
	C200S000	h	Equipo y elementos auxiliares para corte oxiacetilénico	0,400 /R x	6,61000 =	2,64400€	
				subtotal		13,60335	13,60335€
	<b>Otros</b>						
	%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,47779€	
				subtotal		0,47779	0,47779€
				GASTOS AUXILIARES:	0,00%		0,00000€
				COSTE DIRECTO:			45,93394€
				GASTOS INDIRECTOS:	0,00%		0,00000€
				COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:			45,93394€
	G2214101	m3	Excavación en zona de desmonte, de terreno no clasificado, con medios mecánicos y carga sobre camión	Rendimiento	1,00%		2,74€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe
	<b>Mano de obra</b>						
	A0140000	h	Peón	0,010 /R x	19,52000 =	0,19520€	
				subtotal		0,19520	0,19520€
	<b>Maquinaria</b>						
	C13124A0	h	Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 12 a 20 t	0,030 /R x	84,74000 =	2,54220€	
				subtotal		2,54220	2,54220€
	<b>Partidas Obra</b>						
	Z1711007	m3	terreno no clasificado de excavación	1,000 x	0,00000 =	0,00000€	
				subtotal		0,00000	0,00000€
	<b>Otros</b>						
	%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,00293€	
				subtotal		0,00293	0,00293€
				GASTOS AUXILIARES:	0,00%		0,00000€
				COSTE DIRECTO:			2,74033€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 5/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio	
GASTOS INDIRECTOS:							0,00%	0,00000€
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:								2,74033€
G2216101	m3		Excavación en zona de desmonte, de tierra vegetal, con medios mecánicos y carga sobre camión			Rendimiento	1,00%	1,89€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe	
Mano de obra								
A0140000	h	Peón		0,010 /R x	19,52000 =	0,19520€		
						subtotal	0,19520	0,19520€
Maquinaria								
C13124A0	h	Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 12 a 20 t		0,020 /R x	84,74000 =	1,69480€		
						subtotal	1,69480	1,69480€
Partidas Obra								
Z1710123	m3	terreny vegetal excavació		1,000 x	0,00000 =	0,00000€		
						subtotal	0,00000	0,00000€
Otros								
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra		1,500 % x	31,85000 =	0,00293€		
						subtotal	0,00293	0,00293€
GASTOS AUXILIARES:							0,00%	0,00000€
COSTE DIRECTO:								1,89293€
GASTOS INDIRECTOS:							0,00%	0,00000€
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:								1,89293€
G2262211	m3		Extendido y compactación de suelo adecuado de la obra, en tongadas de 50 cm de grueso, como máximo, con compactación del 95 % PM, utilizando rodillo vibratorio autopropulsado, y humedeciendo			Rendimiento	1,00%	2,57€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe	
Maquinaria								
C1311440	h	Pala cargadora sobre pneumàtics de 15 a 20 t		0,009 /R x	88,61000 =	0,79749€		
C1331200	h	Motoniveladora mediana		0,007 /R x	64,74000 =	0,45318€		
C13350C0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado, de 12 a 14 t		0,014 /R x	67,39000 =	0,94346€		
C1502D00	h	Camión cisterna de 6 m3		0,007 /R x	41,26000 =	0,28882€		
						subtotal	2,48295	2,48295€
Materiales								
B0111000	m3	Agua		0,050 x	1,67000 =	0,08350€		
						subtotal	0,08350	0,08350€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 6/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
				GASTOS AUXILIARES:	0,00%		0,00000€
				COSTE DIRECTO:			2,56645€
				GASTOS INDIRECTOS:	0,00%		0,00000€
				<b>COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:</b>			<b>2,56645€</b>
G2266211	m3		Extendido y compactación de suelo seleccionado de aportación, en tongadas de 50 cm de grueso, como máximo, con compactación del 95 % PM, utilizando rodillo vibratorio autopropulsado, y humedeciendo	<b>Rendimiento</b>	1,00%		13,76€
						<b>Importe</b>	
				<b>Unidades</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	
<b>Maquinaria</b>							
C1311440	h		Pala cargadora sobre neumáticos de 15 a 20 t	0,009 /R x	88,61000 =	0,79749€	
C1331200	h		Motoniveladora mediana	0,007 /R x	64,74000 =	0,45318€	
C13350C0	h		Rodillo vibratorio autopropulsado, de 12 a 14 t	0,014 /R x	67,39000 =	0,94346€	
C1502D00	h		Camión cisterna de 6 m3	0,007 /R x	41,26000 =	0,28882€	
				<b>subtotal</b>		<b>2,48295</b>	<b>2,48295€</b>
<b>Materiales</b>							
B0111000	m3		Agua	0,050 x	1,67000 =	0,08350€	
B03D1000	m3		Tierra seleccionada	1,200 x	9,33000 =	11,19600€	
				<b>subtotal</b>		<b>11,27950</b>	<b>11,27950€</b>
				GASTOS AUXILIARES:	0,00%		0,00000€
				COSTE DIRECTO:			13,76245€
				GASTOS INDIRECTOS:	0,00%		0,00000€
				<b>COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:</b>			<b>13,76245€</b>
G22D3011	m2		Desbroce del terreno de más de 2 m, con medios mecánicos y carga mecánica sobre camión	<b>Rendimiento</b>	1,00%		0,58€
						<b>Importe</b>	
				<b>Unidades</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>	
<b>Maquinaria</b>							
C1311440	h		Pala cargadora sobre neumáticos de 15 a 20 t	0,006 /R x	88,61000 =	0,57597€	
				<b>subtotal</b>		<b>0,57597</b>	<b>0,57597€</b>
<b>Partidas Obra</b>							
Z1710123	m3		terreny vegetal excavació	0,300 x	0,00000 =	0,00000€	
				<b>subtotal</b>		<b>0,00000</b>	<b>0,00000€</b>
				GASTOS AUXILIARES:	0,00%		0,00000€
				COSTE DIRECTO:			0,57597€
				GASTOS INDIRECTOS:	0,00%		0,00000€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 7/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:							0,57597€
G921202J	m3		Subbase de zahorras artificial, colocada con motoniveladora y compactado del material al 98% del PM		Rendimiento	1,00%	22,28€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe
Mano de obra							
A0140000	h	Peón		0,040 /R x	19,52000 =	0,78080€	
						subtotal	0,78080
0,78080€							
Maquinaria							
C1331200	h	Motoniveladora mediana		0,017 /R x	64,74000 =	1,10058€	
C13350E0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado, de 14 a 16 t		0,023 /R x	75,85000 =	1,74455€	
C1502E00	h	Camión cisterna de 8 m3		0,005 /R x	42,49000 =	0,21245€	
						subtotal	3,05758
3,05758€							
Materiales							
B0111000	m3	Agua		0,050 x	1,67000 =	0,08350€	
B0372000	m3	Zahorras artificial		1,150 x	15,95000 =	18,34250€	
						subtotal	18,42600
18,42600€							
Otros							
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra		1,500 % x	31,85000 =	0,01171€	
						subtotal	0,01171
						GASTOS AUXILIARES:	0,00%
						COSTE DIRECTO:	22,27609€
						GASTOS INDIRECTOS:	0,00%
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:							22,27609€
G93AD220	t		Base de mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 22 base B 50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo, extendida y compactada		Rendimiento	1,00%	51,47€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe
Mano de obra							
A012N000	h	Oficial 1a de obra pública		0,035 /R x	23,38000 =	0,81830€	
A0140000	h	Peón		0,105 /R x	19,52000 =	2,04960€	
						subtotal	2,86790
2,86790€							
Maquinaria							
C13350C0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado, de 12 a 14 t		0,010 /R x	67,39000 =	0,67390€	
C1709B00	h	Extendedora para pavimentos de mezcla bituminosa		0,008 /R x	53,72000 =	0,42976€	
C170D0A0	h	Rodillo vibratorio para hormigones y betunes autopropulsado neumático		0,010 /R x	61,61000 =	0,61610€	
						subtotal	1,71976
1,71976€							
Materiales							
B9H11J52	t	Mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 22 base B		1,000 x	46,84000 =	46,84000€	

## JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

**Título:** Obra

**Código: 01**

**Descripción:** Ampliación tercer carril

Página 8/16

### Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
			50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo				
					subtotal	46,84000	46,84000€
	Otros						
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,04302€		
					subtotal	0,04302	0,04302€
					GASTOS AUXILIARES:	0,00%	0,00000€
					COSTE DIRECTO:		51,47068€
					GASTOS INDIRECTOS:	0,00%	0,00000€
					COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:		51,47068€
	G93AE220	t	Base de mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 32 base B 50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo, extendida y compactada		Rendimi ento	1,00%	50,50€
							Importe
				Unidades	Precio	Parcial	
	Mano de obra						
A012N000	h	Oficial 1a de obra pública	0,030 /R x	23,38000 =	0,70140€		
A0140000	h	Peón	0,090 /R x	19,52000 =	1,75680€		
					subtotal	2,45820	2,45820€
	Maquinaria						
C13350C0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado, de 12 a 14 t	0,010 /R x	67,39000 =	0,67390€		
C1709B00	h	Extendedora para pavimentos de mezcla bituminosa	0,008 /R x	53,72000 =	0,42976€		
C170D0A0	h	Rodillo vibratorio para hormigones y betunes autopropulsado neumático	0,010 /R x	61,61000 =	0,61610€		
					subtotal	1,71976	1,71976€
	Materiales						
B9H11K52	t	Mezcla bituminosa continua en caliente tipo AC 32 base B 50/70 G, con betún asfáltico de penetración, de granulometría gruesa para capa base y árido calcáreo	1,000 x	46,29000 =	46,29000€		
					subtotal	46,29000	46,29000€
	Otros						
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,03687€		
					subtotal	0,03687	0,03687€
					GASTOS AUXILIARES:	0,00%	0,00000€
					COSTE DIRECTO:		50,50483€



# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 9/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción	Precio		
GASTOS INDIRECTOS:				0,00%		0,00000€
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:						50,50483€
G9H3P151	m2	Pavimento de mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido granítico, para una capa de rodadura de 4 cm de espesor			Rendimiento 1,00%	4,67€
				Importe		
				Unidades	Precio	Parcial
<b>Mano de obra</b>						
A012N000	h	Oficial 1a de obra pública	0,002 /R x	23,38000 =	0,03741€	
A0140000	h	Peón	0,003 /R x	19,52000 =	0,06246€	
				subtotal	0,09987	0,09987€
<b>Maquinaria</b>						
C13350C0	h	Rodillo vibratorio autopropulsado, de 12 a 14 t	0,001 /R x	67,39000 =	0,05391€	
C1709B00	h	Extendedora para pavimentos de mezcla bituminosa	0,001 /R x	53,72000 =	0,04298€	
C170D0A0	h	Rodillo vibratorio para hormigones y betunes autopropulsado neumático	0,001 /R x	61,61000 =	0,04929€	
				subtotal	0,14618	0,14618€
<b>Materiales</b>						
B9H3P151	t	Mezcla bituminosa drenante tipo PA 11 B 50/70 para capa de rodadura, con betún asfáltico de penetración y árido granítico	0,080 x	55,34000 =	4,42720€	
				subtotal	4,42720	4,42720€
<b>Otros</b>						
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,00150€	
				subtotal	0,00150	0,00150€
				GASTOS AUXILIARES:	0,00%	0,00000€
				COSTE DIRECTO:		4,67475€
				GASTOS INDIRECTOS:	0,00%	0,00000€
				COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:		4,67475€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 10/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción	Unidades	Precio	Parcial	Rendimiento	Importe
	G9J12E40	m2	Riego de imprimación con emulsión bituminosa catiónica tipo C50BF4 IMP, con dotación 1 kg/m2				1,00%	0,39€
<b>Mano de obra</b>								
	A0150000	h	Peón especialista	0,003 /R x	20,19000 =	0,06057€		
					<b>subtotal</b>	<b>0,06057</b>		<b>0,06057€</b>
<b>Maquinaria</b>								
	C1702D00	h	Camión cisterna para riego asfáltico	0,003 /R x	28,13000 =	0,08439€		
					<b>subtotal</b>	<b>0,08439</b>		<b>0,08439€</b>
<b>Materiales</b>								
	B0552460	kg	Emulsión bituminosa catiónica con un 50% de betún asfáltico, para riego de imprimación tipo C50BF4 IMP con un contenido de fluidificante >3%, según UNE-EN 13808	1,000 x	0,24000 =	0,24000€		
					<b>subtotal</b>	<b>0,24000</b>		<b>0,24000€</b>
<b>Otros</b>								
	%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,00091€		
					<b>subtotal</b>	<b>0,00091</b>		<b>0,00091€</b>
					GASTOS AUXILIARES:	0,00%		0,00000€
					COSTE DIRECTO:			0,38587€
					GASTOS INDIRECTOS:	0,00%		0,00000€
					<b>COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:</b>			<b>0,38587€</b>
	G9J13J40	m2	Riego de adherencia con emulsión bituminosa catiónica tipo C60B3/B2 ADH, con dotación 1 kg/m2				1,00%	0,40€
<b>Mano de obra</b>								
	A0150000	h	Peón especialista	0,003 /R x	20,19000 =	0,06057€		
					<b>subtotal</b>	<b>0,06057</b>		<b>0,06057€</b>
<b>Maquinaria</b>								
	C1702D00	h	Camión cisterna para riego asfáltico	0,003 /R x	28,13000 =	0,08439€		
	C170E000	h	Barredora autopropulsada	0,000 /R x	41,62000 =	0,02081€		
					<b>subtotal</b>	<b>0,10520</b>		<b>0,10520€</b>
<b>Materiales</b>								
	B0552100	kg	Emulsión bituminosa catiónica con un 60% de betún asfáltico, para riego de adherencia tipo C60B3/B2 ADH, según UNE-EN 13808	1,000 x	0,23000 =	0,23000€		
					<b>subtotal</b>	<b>0,23000</b>		<b>0,23000€</b>

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 11/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
Otros							
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,00091€		
subtotal					0,00091	0,00091€	
GASTOS AUXILIARES:					0,00%	0,00000€	
COSTE DIRECTO:						0,39668€	
GASTOS INDIRECTOS:					0,00%	0,00000€	
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:						0,39668€	
GBA1E526	m	Pintado sobre pavimento de marca vial longitudinal continua sonora para uso permanente y retrorreflectante en seco, con humedad y con lluvia, tipo P-RRS, de 10 cm de anchura, con termoplástico de aplicación en caliente de color blanco y microesferas de vidrio, aplicada mecánicamente mediante extrusión			Rendimiento	1,00% 1,28€	
			Unidades	Precio	Parcial	Importe	
Mano de obra							
A0121000	h	Oficial 1a	0,008 /R x	23,38000 =	0,18704€		
A0140000	h	Peón	0,004 /R x	19,52000 =	0,07808€		
subtotal					0,26512	0,26512€	
Maquinaria							
C1B05A00	h	Máquina para pintar bandas de vial con termoplástico en caliente mediante extrusión, autopropulsada	0,004 /R x	72,00000 =	0,28800€		
subtotal					0,28800	0,28800€	
Materiales							
BBA16100	kg	Termoplástico en caliente aplicable por extrusión de color blanco, para marcas viales	0,510 x	1,30000 =	0,66300€		
BBA1M200	kg	Microesferas de vidrio para marcas viales retrorreflectantes en seco, con humedad y con lluvia	0,051 x	1,22000 =	0,06222€		
subtotal					0,72522	0,72522€	
Otros							
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,00398€		
subtotal					0,00398	0,00398€	
GASTOS AUXILIARES:					0,00%	0,00000€	
COSTE DIRECTO:						1,28232€	
GASTOS INDIRECTOS:					0,00%	0,00000€	
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:						1,28232€	

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 12/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
	GBA1F526	m	Pintado sobre pavimento de marca vial longitudinal continua sonora para uso permanente y retrorreflectante en seco, con humedad y con lluvia, tipo P-RRS, de 15 cm de anchura, con termoplástico de aplicación en caliente de color blanco y microesferas de vidrio, aplicada mecánicamente mediante extrusión	Rendimiento	1,00%		6,40€
						Importe	
				Unidades	Precio	Parcial	
<b>Mano de obra</b>							
	A0121000	h	Oficial 1a	0,011 /R x	23,38000 =	0,25718€	
	A0140000	h	Peón	0,055 /R x	19,52000 =	1,07360€	
				subtotal		1,33078	1,33078€
<b>Maquinaria</b>							
	C1B05A00	h	Máquina para pintar bandas de vial con termoplástico en caliente mediante extrusión, autopropulsada	0,055 /R x	72,00000 =	3,96000€	
				subtotal		3,96000	3,96000€
<b>Materiales</b>							
	BBA16100	kg	Termoplástico en caliente aplicable por extrusión de color blanco, para marcas viales	0,765 x	1,30000 =	0,99450€	
	BBA1M200	kg	Microesferas de vidrio para marcas viales retrorreflectantes en seco, con humedad y con lluvia	0,076 x	1,22000 =	0,09333€	
				subtotal		1,08783	1,08783€
<b>Otros</b>							
	%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,01996€	
				subtotal		0,01996	0,01996€
				GASTOS AUXILIARES:		0,00%	0,00000€
				COSTE DIRECTO:			6,39857€
				GASTOS INDIRECTOS:		0,00%	0,00000€
				COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:			6,39857€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 13/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
	GD571310	m	Cuneta profunda triangular, de 1,50 m de ancho y 0,33 m de profundidad, con un revestimiento mínimo de 10 cm de hormigón de 20 N/mm2 de resistencia característica a compresión, incluida excavación de terreno no clasificado, refinado, carga y transporte al vertedero de los materiales resultantes	Rendimiento	1,00%		18,94€
						Importe	
				Unidades	Precio	Parcial	
<b>Mano de obra</b>							
A0121000	h	Oficial 1a	0,090 /R x	23,38000 =	2,10420€		
A0140000	h	Peón	0,090 /R x	19,52000 =	1,75680€		
A0150000	h	Peón especialista	0,045 /R x	20,19000 =	0,90855€		
				subtotal	4,76955		4,76955€
<b>Maquinaria</b>							
C1105A00	h	Retroexcavadora con martillo rompedor	0,009 /R x	64,48000 =	0,58032€		
C1313330	h	Retroexcavadora sobre neumáticos de 8 a 10 t	0,030 /R x	50,90000 =	1,54736€		
C1331100	h	Motoniveladora pequeña	0,011 /R x	58,56000 =	0,64416€		
				subtotal	2,77184		2,77184€
<b>Materiales</b>							
B064300C	m3	Hormigón HM-20/P/20/I de consistencia plástica, tamaño máximo del árido 20 mm, con >= 200 kg/m3 de cemento, apto para clase de exposición I	0,182 x	59,55000 =	10,83810€		
B0A14200	kg	Alambre recocido de diámetro 1,3 mm	0,025 x	1,17000 =	0,02925€		
B0A31000	kg	Clavo de acero	0,075 x	1,36000 =	0,10200€		
B0D21030	m	Tablón de madera de pino para 10 usos	0,750 x	0,38000 =	0,28500€		
B0DZA000	l	Desencofrante	0,025 x	2,75000 =	0,06875€		
				subtotal	11,32310		11,32310€
<b>Otros</b>							
%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,07154€		
				subtotal	0,07154		0,07154€
				GASTOS AUXILIARES:	0,00%		0,00000€
				COSTE DIRECTO:			18,93603€
				GASTOS INDIRECTOS:	0,00%		0,00000€
				COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:			18,93603€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 14/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
	GD75PAK5	m	Alcantarilla de tubo de hormigón de D=120 cm, rejuntado interiormente con mortero M-10 , solera de 25 cm, relleno hasta medio tubo y anillado con hormigón HM-20/P/20/I		Rendimiento	1,00%	216,38€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe
<b>Mano de obra</b>							
	A012N000	h	Oficial 1a de obra pública	1,250 /R x	23,38000 =	29,22500€	
	A0140000	h	Peón	1,250 /R x	19,52000 =	24,40000€	
				subtotal		53,62500	53,62500€
<b>Maquinaria</b>							
	C1503000	h	Camión grúa	0,420 /R x	45,42000 =	19,07640€	
				subtotal		19,07640	19,07640€
<b>Materiales</b>							
	B0111000	m3	Agua	0,003 x	1,67000 =	0,00501€	
	B064300C	m3	Hormigón HM-20/P/20/I de consistencia plástica, tamaño máximo del árido 20 mm, con >= 200 kg/m3 de cemento, apto para clase de exposición I	0,920 x	59,55000 =	54,76218€	
	B07102A0	t	Mortero para albañilería, clase M 10 (10 N/mm2), a granel, de designación (G) según norma UNE-EN 998-2	0,017 x	31,86000 =	0,52888€	
	BD75P000	m	Tubo de hormigón de diámetro 120 cm	1,050 x	83,41000 =	87,58050€	
				subtotal		142,87657	142,87657€
<b>Otros</b>							
	%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,80438€	
				subtotal		0,80438	0,80438€
				GASTOS AUXILIARES:		0,00%	0,00000€
				COSTE DIRECTO:			216,38235€
				GASTOS INDIRECTOS:		0,00%	0,00000€
				COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:			216,38235€

# JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Página 15/16

## Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción				Precio
	GR3P1C16	m3	Extendido de tierra vegetal procedente de la obra, con motoniveladora pequeña		Rendimiento	1,00%	3,04€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe
<b>Mano de obra</b>							
	A012P000	h	Oficial 1a jardinero	0,004 /R x	28,01000 =	0,11204€	
					subtotal	0,11204	0,11204€
<b>Maquinaria</b>							
	C1331100	h	Motoniveladora pequeña	0,050 /R x	58,56000 =	2,92800€	
					subtotal	2,92800	2,92800€
<b>Otros</b>							
	%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x	31,85000 =	0,00168€	
					subtotal	0,00168	0,00168€
					GASTOS AUXILIARES:	0,00%	0,00000€
					COSTE DIRECTO:		3,04172€
					GASTOS INDIRECTOS:	0,00%	0,00000€
					COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:		3,04172€
	GR7217H0	m2	Hidrosiembra de mezcla de semillas para césped tipo Standard C4 según NTJ 07N, con una dosificación de 10 g/m2, agua, mulch de fibra vegetal a base de paja picada y fibra corta de celulosa (200g/m2), abono organo-mineral de liberación lenta, bioactivador microbiano y estabilizador sintético de base acrílica, en una superficie de 500 a 2000 m2		Rendimiento	1,00%	0,99€
				Unidades	Precio	Parcial	Importe
<b>Mano de obra</b>							
	A012P000	h	Oficial 1a jardinero	0,002 /R x	28,01000 =	0,05042€	
					subtotal	0,05042	0,05042€
<b>Maquinaria</b>							
	C1503000	h	Camión grúa	0,001 /R x	45,42000 =	0,04088€	
	CR713300	h	Hidrosembradora montada sobre camión, con depósito de 2500 l, con bomba incorporada de 15 a 20 kW	0,001 /R x	35,32000 =	0,03179€	
					subtotal	0,07267	0,07267€
<b>Materiales</b>							
	B0111000	m3	Agua	0,002 x	1,67000 =	0,00334€	
	BR34J000	kg	Bioactivador microbiano	0,015 x	6,62000 =	0,09930€	
	BR361100	kg	Estabilizante sintético de base acrílica	0,045 x	8,21000 =	0,36945€	
	BR3A7000	kg	Abono mineral sólido de fondo, de liberación lenta	0,030 x	5,52000 =	0,16560€	
	BR3PAN00	kg	Acolchado protector para hidrosiembras de fibra semicorta	0,200 x	0,92000 =	0,18400€	
	BR4U1H00	kg	Mezcla de semillas para césped tipo Standard C4, según NTJ 07N	0,010 x	4,72000 =	0,04720€	
					subtotal	0,86889	0,86889€

JUSTIFICACIÓN ELEMENTOS

Título: Obra

Código: 01

Descripción: Ampliación tercer carril

Elementos de Partidas de Obra

Número	Código	U.A.	Descripción	Precio
Otros				
	%AUX001	%	Gastos auxiliares sobre la mano de obra	1,500 % x 31,85000 = 0,00076€
subtotal				0,00076
GASTOS AUXILIARES:				0,00%
COSTE DIRECTO:				0,99274€
GASTOS INDIRECTOS:				0,00%
COSTE EJECUCIÓN MATERIAL:				0,99274€



ANEJO C

Materiales A1			Non renewable, fossil [MJ]	Non- renewable, nuclear [MJ]	Non- renewable, biomass [MJ]	Renewable, biomass [MJ]	Renewable, wind, solar, geotho [MJ]	Renewable, water [MJ]	Global warming (GWP100a) [kg CO2 eq]	Bulk waste [kg]	Radioactive waste [kg]	Hazardous waste [kg]	Water depletion [m3]	Abiotic depletion [kg Sb eq]	Human toxicity, non- cancer effects [kg 1,4-DB eq]	Particulate matter [kg PPM 2,5]	Human toxicity, cancer effects [kg C2H4]	Acidification [kg SO2 eq]	Eutrophication [kg (PO4)3- eq]	Ozone layer depletion (ODP) [kg CFC-11 eq]	Particulate matter formation [kg PPM 10]	Photochemical ozone formation [kg NMVOC eq]	Photochemical oxidation [kg C2H4 eq]
B0111000	m3	Agua	0,026177543	0,00506023	4,2635E-06	0,000740865	0,000382031	0,00208188	0,00237884	1,21445E-09	1,04829E-07	1,09668E-07	1,0178603	2,26718E-10	1,38674E-10	2,49778E-06	9,09602E-11	1,21891E-05	4,49651E-06	1,38673E-09	7,18762E-06	6,07811E-06	4,92814E-07
B0372000	m3	Zahorras art.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B03D1000	m3	Tierra selec.	0,022300868	7,04364E-05	5,08705E-08	1,15716E-05	3,69269E-06	2,30347E-05	0,00142552	2,77772E-09	1,53328E-07	3,69475E-09	1,945905891	3,21866E-12	2,06295E-11	1,90109E-06	1,40763E-12	1,11359E-05	2,45378E-06	2,71819E-10	5,97909E-06	2,03308E-05	2,66838E-07
B0552100	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego adh.C60B3/B2 ADH	88,38233068	0,401632603	7,93065E-05	0,028026478	0,004228905	0,095243868	0,51073027	4,18676E-07	0,000614193	1,2816E-05	0,00823906	5,75777E-09	3,96774E-08	0,000420101	2,85704E-09	0,005765316	0,00070735	1,08539E-06	0,00137292	0,004101869	0,000417967
B0552460	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego imp.C50BF4 IMP,fluid.>3%	24,5506605	0,111567142	2,20317E-05	0,007785503	0,001174887	0,026457671	0,141870709	1,16299E-07	0,000170609	3,56006E-06	0,002797558	1,5995E-09	1,10218E-08	0,000116696	7,93666E-10	0,001601483	0,000196488	3,01497E-07	0,00038137	0,001139411	0,000116102
B064300C	m3	Hormigón HM-20/P/20/I,>= 200kg/m3 cemento	595,434596	48,10418097	0,011737489	7,135235265	3,311190784	18,56263194	168,7344976	8,73113E-05	0,00283035	0,000200952	2,846464894	2,21978E-06	8,46367E-06	0,019396366	8,67696E-07	0,277899299	0,064361976	4,42419E-06	0,112792329	0,273738468	0,010268355
B07102A0	t	Mort.albañilería M10,granel,(G) UNE-EN 998-2	595,4141866	48,10346943	0,011736896	7,135130128	3,311138304	18,56234373	168,7331013	8,7309E-05	0,002830219	0,000200935	1,230215238	2,21975E-06	8,46358E-06	0,019394592	8,67683E-07	0,277889222	0,064359521	4,4238E-06	0,112786835	0,273722174	0,010268087
BOA14200	kg	Alambre recocido,D=1,3mm	0,782140827	0,021319343	2,43729E-05	0,003843235	0,001650437	0,011287387	0,052840199	1,50806E-07	4,88988E-06	3,10799E-07	0,005359108	8,05181E-10	5,9057E-09	4,40962E-05	5,44835E-10	0,000325646	7,02084E-05	8,48064E-09	0,000164555	0,000422448	1,04114E-05
BOA31000	kg	Clavo acero	0,782140827	0,021319343	2,43729E-05	0,003843235	0,001650437	0,011287387	0,052840199	1,50806E-07	4,88988E-06	3,10799E-07	0,005359108	8,05181E-10	5,9057E-09	4,40962E-05	5,44835E-10	0,000325646	7,02084E-05	8,48064E-09	0,000164555	0,000422448	1,04114E-05
B0D21030	m	Tablón madera pino p/10 usos	0,536141434	0,211580787	0,004604301	27,07050556	0,002077641	0,04425716	0,034979605	1,22385E-07	6,45397E-06	2,59081E-07	0,000319304	2,67856E-08	3,06571E-09	1,69576E-05	6,08468E-10	0,000137652	3,82966E-05	7,73357E-09	6,66081E-05	0,000528021	7,49637E-05
B0DZA000	l	Desencofrante	62,64013259	0,196791978	0,05663E-05	0,026743599	0,029311323	0,030704199	0,499484861	7,80677E-06	0,000433079	9,70398E-06	0,0058634	8,87372E-09	3,30352E-08	0,00498969	1,88801E-09	0,005771005	0,000529513	7,67371E-07	0,001308504	0,00314334	0,000352077
B9H11J52	t	Mezcl.bit.AC 22 base B 50/70G,árido calcáreo	1792,209539	8,144255449	0,001608188	0,568321071	0,085754837	1,931346672	10,35725977	8,49134E-06	0,01245456	0,002559882	1,238430014	1,16757E-07	8,04582E-07	0,008519755	5,79351E-08	0,116913922	0,014344843	2,20094E-05	0,027843062	0,083187985	0,008475589
B9H11K52	t	Mezcl.bit.AC 32 base B 50/70G,árido calcáreo	1792,209539	8,144255449	0,001608188	0,568321071	0,085754837	1,931346672	10,35725977	8,49134E-06	0,01245456	0,000259882	1,238430014	1,16757E-07	8,04582E-07	0,008519755	5,79351E-08	0,116913922	0,014344843	2,20094E-05	0,027843062	0,083187985	0,008475589
B9H3P151	t	Mezcl.bitu.PA11 B 50/70,árid.granítico	2111,367873	9,594595142	0,001894572	0,669527755	0,10102587	2,275282777	12,20155823	1,00032E-05	0,01467248	0,000306162	1,260954525	1,37549E-07	9,47861E-07	0,010036779	6,82522E-08	0,137733076	0,016899155	2,59288E-05	0,032800807	0,098000215	0,009984913
BBA16100	kg	Termoplást.caliente extrusión color blanco, p/marcas viales	78,9346319	3,440359028	3,59233E-05	0,190106653	0,004303319	0,221941026	3,276819852	1,05885E-07	1,39014E-06	5,92928E-07	0,079919971	3,01008E-07	7,17466E-08	0,00116031	9,73377E-08	0,010082466	0,001075528	5,52795E-08	0,010174025	0,000621858	0,000621858
BBA1M200	kg	Microesferas vidrio p/retorreref.seco+humed.+lluvia	1,30548524	0,135269071	0,000132385	0,236982888	0,007362678	0,07285475	0,131100715	1,30921E-07	4,81925E-06	8,22088E-07	0,006872579	1,63709E-08	2,13168E-08	0,000161707	3,43879E-09	0,001151096	0,000264592	6,70993E-09	0,000385153	0,000463862	3,90459E-05
BD75P000	m	Tubo de horm.D=120cm	259,9469374	101,7759929	0,006384031	2,454651968	1,063220563	22,49850816	58,55237184	0,001197869	0,002431346	8,79678E-05	1,518422869	5,37303E-06	2,97264E-06	0,009792008	4,46371E-07	0,114452935	0,030982219	2,5394E-06	0,050653593	0,130366943	0,006148681
BR34J000	kg	Bioactivador microbiano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR361100	kg	Estabilizante sint.base acrílica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR3A7000	kg	Abono miner.sólido fondo liberación lenta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR3PAN00	kg	Acolchado p/hidrosiembras fibra semicorta	17,49625158	1,32026465	0,084463577	571,9392654	0,028397845	0,30979358	1,145872577	3,77494E-06	0,000130878	6,64655E-06	1,401651782	8,71915E-07	1,04204E-07	0,000538503	2,03067E-08	0,004678109	0,001131209	2,14096E-07	0,00228539	0,011631202	0,001237571
BR4U1H00	kg	Mezcla p/césped tipo St.C4	0,141805565	0,011085329	3,83771E-05	17,91572029	0,000711147	0,005104435	0,009745574	1,67231E-08	6,76201E-07	1,64453E-07	0,00025868	2,92858E-07	5,77995E-09	1,77596E-05	7,28272E-10	0,0001014	4,66368E-05	1,19816E-09	4,66457E-05	5,33905E-05	3,74429E-06

Materiales A3			Non renewable, fossil [MJ]	Non-renewable, nuclear [MJ]	Non-renewable, biomass [MJ]	Renewable, biomass [MJ]	Renewable, wind, solar, geothe [MJ]	Renewable, water [MJ]	Global warming (GWP100a) [kg CO2 eq]	Bulk waste [kg]	Radioactive waste [kg]	Hazardous waste [kg]	Water depletion [m3]	Abiotic depletion [kg Sb eq]	Human toxicity, non-cancer effects [kg 1,4-DB eq]	Particulate matter [kg PPM 2,5]	Human toxicity, cancer effects [kg C2H4]	Acidification [kg SO2 eq]	Eutrophication [kg (PO4)3- eq]	Ozone layer depletion (ODP) [kg CFC-11 eq]	Particulate matter formation [kg PPM 10]	Photochemical ozone formation [kg NMVOC eq]	Photochemical oxidation [kg C2H4 eq]
B0111000	m3	Agua	3,102046397	1,913927276	0,000344531	0,224364588	0,128782708	0,311112079	0,265714704	2,61037E-06	3,0741E-05	7,11106E-06	-0,012597248	3,66124E-07	6,57919E-08	0,000112835	2,09118E-08	0,001334594	0,000725262	2,67963E-08	0,00040193	0,000577046	5,92919E-05
B0372000	m3	Zahorras art.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B03D1000	m3	Tierra selec.	70,80670366	22,00287136	0,004261766	2,036937845	6,05775613	3,649689595	5,435496765	4,83254E-06	0,000556134	3,92903E-05	-1,385674963	2,49292E-06	6,70817E-07	0,004682469	2,53898E-07	0,039336661	0,006965837	6,95083E-07	0,015485839	0,040067258	0,003063946
B0552100	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego adh.C60B3/B2 ADH	1,240336079	0,018061063	3,57532E-06	0,000889721	0,000515181	0,005865586	0,112999788	7,24406E-08	1,07865E-06	1,05597E-06	0,000167598	2,53381E-10	2,74818E-09	8,01178E-06	3,74597E-10	0,000103077	2,11255E-05	1,12035E-08	3,5015E-05	0,002787805	7,5005E-06
B0552460	kg	Emul.bitum.catiónica p/riego imp.C50BF4 IMP,fluid.>3%	0,346088823	0,005973926	1,16541E-06	0,000359327	0,000207497	0,00178489	0,031521687	2,14276E-08	3,14995E-07	2,96882E-07	4,02563E-05	2,53446E-10	7,9628E-10	2,28191E-06	1,14511E-10	2,92997E-05	6,23083E-06	3,12548E-09	9,92734E-06	0,000774679	2,11312E-06
B064300C	m3	Hormigón HM-20/P/20/I,>= 200kg/m3 cemento	116,5966648	50,55807262	0,006697755	4,560746799	13,91448812	8,280395753	9,092795744	6,36978E-06	0,001009998	7,46446E-05	-1,671750084	3,20252E-06	1,17892E-06	0,006999279	4,16057E-07	0,067411859	0,010846475	1,11622E-06	0,024217384	0,057175121	0,004479697
B07102A0	t	Mort.albañilería M10,granel,(G) UNE-EN 998-2	62,19693488	33,53009869	0,003402988	2,978231554	9,27816385	5,456734305	4,913198907	2,34519E-06	0,000581899	4,37578E-05	-0,613410968	1,25385E-06	6,58813E-07	0,003413808	2,19719E-07	0,037240628	0,005440115	5,8267E-07	0,012355791	0,026545226	0,002135456
BOA14200	kg	Alambre recocido,D=1,3mm	4,274832954	1,644385934	0,000137642	0,150169063	0,386672685	0,281436947	0,284566205	1,10196E-07	2,59582E-05	3,37999E-06	0,000404598	2,34636E-07	2,44617E-06	0,000290507	2,72067E-06	0,001679466	0,000417521	3,59653E-08	0,000848649	0,000868689	0,000137452
BOA31000	kg	Clavo acero	4,139986958	1,642481978	0,000137296	0,150081091	0,386620615	0,280822072	0,276866791	1,10016E-07	2,58432E-05	3,26706E-06	0,000388923	2,34624E-07	2,44606E-06	0,000289725	2,72064E-06	0,001669463	0,00041567	3,47589E-08	0,000845219	0,000860097	0,000136669
B0D21030	m	Tablón madera pino p/10 usos	1,337201538	-0,074363731	0,000695635	-0,240141259	0,008320126	0,013114609	1,027923555	2,09183E-07	4,37295E-06	1,027930743	1,767E-09	0,000330743	5,29401E-08	0,000648625	2,51318E-09	0,000710971	0,000209567	1,00949E-08	0,00054701	0,00089152	4,43456E-05
B0DZA000	l	Desencofrante	2,023269021	0,891586695	5,494E-05	0,07707151	0,244828661	0,145612097	0,143877599	5,42262E-09	1,30752E-05	1,76319E-06	0,000825071	4,15191E-09	1,18315E-08	5,15923E-05	1,76511E-09	0,000785615	9,51909E-05	1,85684E-08	0,000217708	0,008862439	3,24796E-05
B9H11J52	t	Mezcl.bit.AC 22 base B 50/70G,árido calcáreo	64,13540736	12,48039054	0,002418906	1,13952135	3,345674166	2,12835863	5,284013802	4,12959E-06	0,000328064	4,30449E-05	-0,759514535	1,37767E-06	4,2506E-07	0,002740495	1,47385E-07	0,02374781	0,00426337	6,09875E-07	0,009236086	0,078590382	0,001839014
B9H11K52	t	Mezcl.bit.AC 32 base B 50/70G,árido calcáreo	64,13540736	12,48039054	0,002418906	1,13952135	3,345674166	2,12835863	5,284013802	4,12959E-06	0,000328064	4,30449E-05	-0,759514535	1,37767E-06	4,2506E-07	0,002740495	1,47385E-07	0,02374781	0,00426337	6,09875E-07	0,009236086	0,078590382	0,001839014
B9H3P151	t	Mezcl.bitu.PA11 B 50/70,árid.granítico	68,35140243	12,46388609	0,002415987	1,135168463	3,325034304	2,135981156	5,671879602	4,37323E-06	0,000329894	4,67122E-05	-0,753762528	1,36933E-06	4,32492E-07	0,002752034	1,47794E-07	0,023973925	0,004313983	6,4775E-07	0,009305011	0,088508635	0,001854719
BBA16100	kg	Termoplást.caliente extrusión color blanco, p/marcas viales	6,107417039	3,198639479	0,000209559	0,282154576	0,865341765	0,512653291	4,412019318	9,56862E-08	4,43188E-05	3,69017E-06	-0,008023647	1,68607E-07	4,48562E-08	0,000217892	9,31373E-09	0,003031657	0,000367883	3,79961E-08	0,000834817	0,002764474	0,000907315
BBA1M200	kg	Microesferas vidrio p./retorreref.seco+humed.+lluvia	10,38343372	0,414254008	5,86119E-05	0,063800265	0,102280307	0,085093624	0,832589921	1,17916E-06	3,37915E-05	6,00556E-06	0,000126406	1,76279E-07	1,58026E-08	0,000732528	1,08756E-09	0,007732528	0,0003572261	1,07156E-07	0,002049197	0,004194686	0,00026342
BD75P000	m	Tubo de horm.D=120cm	73,15306203	11,94993327	0,009042174	37,50409965	2,084305439	3,3564273	5,286074894	5,42096E-06	0,000399889	5,38743E-05	-0,119232976	3,89683E-07	6,17471E-07	0,006033124	1,40857E-07	0,033212986	0,009165257	5,70047E-07	0,017530208	0,037102068	0,001301093
BR34J000	kg	Bioactivador microbiano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR361100	kg	Estabilizante sint.base acrílica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR3A7000	kg	Abono miner.sólido fondo liberación lenta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR3PAN00	kg	Acolchado p./hidrosiembras fibra semicorta	91,1398524	33,16520488	0,266269486	4,218262461	9,129347413	5,749721893	7,07031566	4,83276E-05	0,000696912	9,64745E-05	-0,86595059	7,18713E-05	1,24977E-05	0,022222733	2,47487E-07	0,063939228	0,018525655	9,70402E-07	0,024484271	0,038604842	0,002873121
BR4U1H00	kg	Mezcla p./césped tipo St.C4	0,362693577	0,001626826	3,26628E-07	0,000120847	1,77779E-05	0,000386198	0,066143406	4,18423E-08	2,52014E-06	5,66112E-08	3,32905E-05	3,49237E-11	-3,5398E-07	0,000105296	8,7304E-09	0,002323996	0,000827054	4,45395E-09	0,000540689	0,000375016	3,06177E-06